

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Stasys DAILYDKA

# KELEIVIŲ VEŽIMO GELEŽINKELIU PRIEMONIŲ PARINKIMO TYRIMAS

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI,  
TRANSPORTO INŽINERIJA (03T)



LEIDYKLA  
Vilnius TECHNIKA 2011

Disertacija rengta 2007–2011 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

### **Mokslinis vadovas**

prof. habil. dr. Leonas Povilas LINGAITIS (Vilniaus Gedimino technikos universitetas, technologijos mokslai, transporto inžinerija – 03T).

VGTU leidyklos TECHNIKA 1876-M mokslo literatūros knyga  
*<http://leidykla.vgtu.lt>*

ISBN 978-9955-28-851-0

© VGTU leidykla TECHNIKA, 2011

© Stasys, Dailydka, 2011

*[s.dailydka@litrail.lt](mailto:s.dailydka@litrail.lt)*

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Stasys DAILYDKA

# A STUDY ON THE OPTIONS OF MEANS FOR RAILWAY PASSENGER TRANSPORTATION

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,  
TRANSPORT ENGINEERING (03T)



Vilnius LEIDYKLA  
TECHNIKA 2011

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2007–2011.

**Scientific Supervisor**

Prof Dr Habil Leonas Povilas LINGAITIS (Vilnius Gediminas Technical University, Technological Sciences, Transport Engineering – 03T).

# Reziumė

Disertacijoje nagrinėjami būdai, metodai ir priemonės, kurie leistų maksimaliai sumažinti nuostolius, patiriamus vežant keleivius vietiniais geležinkelių maršrutais. Pastaruoju metu dėl objektyvių priežasčių gerokai sumažėjo keleivių, dėl to krinta pajamos, o nuostoliai didėja. Todėl darbe pateikiamos kompleksinės priemonės nuostoliams šioje srityje mažinti. Sudarytas traukinių formavimo matematinis modelis leidžia optimizuoti kiekvieno maršruto sąstatus ir traukos rūšį, o pateiktos keleivių komforto gerinimo sąlygos suteiks galimybę daugiau keleivių pasirinkti geležinkelių transportą, o kartu padidinti keleivių vežimo sektoriaus pajamas.

Pirmajame skyriuje išanalizuoti pastarųjų metų moksliniai darbai, susiję su keleivių vežimo geriausių sąlygų paieška tiek organizaciniu, tiek komforto gerinimo požiūriais.

Antrajame skyriuje analizuojama esama padėtis Lietuvos geležinkelių sistemoje pagal atskirus maršrutus, išryškinamos keleivių vežimo sektoriaus problemos bei perspektyviniai uždaviniai, keleivių parko būklė, investicijų poreikis.

Trečiajame skyriuje sudarytas matematinis modelis racionaliems traukinių sąstatams parinkti atsižvelgiant į dinamiką bei galimą traukos rūšį. Modelio reikšmingumas parodytas keliuose būdinguose ruožuose, kuriuose keleivių dinamika skirtinga ir gali būti panaudota įvairiarūšė trauka.

Ketvirtajame skyriuje analizuojamos įvairios priemonės keleivių komfortui gerinti. Pagrindinė jų – žmogaus sveikatai žalingos vagonų vibracijos poveikio mažinimas. Sudaryta tikslo funkcija, leidžianti parinkti optimalius dinaminis vagonų vežimėlių pakabų koeficientus, lemiančius vagonų vibracijas esant įvairiems greičiams ir kelio sužadinimams (nelygumams).

Disertacijos pabaigoje pateikiamos išvados ir rezultatų apibendrinimas.

Disertacijos tema autorius paskelbė septynis mokslinius straipsnius: keturi straipsniai – *ISI Web of Science* mokslo žurnaluose, du straipsniai – recenzuojamuose mokslo žurnaluose, vienas straipsnis – recenzuojamame tarptautinės konferencijos straipsnių rinkinyje. S. Dailys yra vienas iš vadovėlio „Traukos riedmenų elektros pavaros ir jų valdymas“ bendraautoris.

# Abstract

This thesis investigates means, methods and instruments enabling to decrease losses in relation to passenger transportation by railways at local routes. During the recent time, due to objective reasons, the number of passengers decreased substantially due to the decreasing income of people, and losses of the railways are increasing.

The thesis presents complex means for minimizing of the losses in this areas. Train set formation mathematical model enables to optimise train sets and traction type for each route, and the analysis of passenger comfort improvement conditions should ensure the feasibility to attract more passengers to choose railway transportation, and at the same time – to increase income level in the sector of passenger transportation.

The first chapter analyses research works of the recent years related to the search of the best conditions for passenger transportation both on the organizational side, and on the side of passenger comfort improvements.

The second chapter analyses the present situation in the railway system of Lithuania on the basis of specified routes, problems are identified in the passenger transportation sector, together with the tasks for the future, passenger inventory condition and investment needs are defined.

The third chapter is devoted for making up of a mathematic model for rational solutions of train sets on the basis of passenger number dynamics and traction types. The significance of the model is shown for certain characteristic sectors with fluctuating passenger number dynamics where multiple traction options can be used.

The fourth chapter analyses various means for passenger comfort improvement. One of the most important aspects – decreasing of vibrations in carriages which are harmful to human health. Target function was made up which provides the enables the selection of carriage (undertrack) suspension optical dynamic coefficients in relation to carriage vibrations at various speeds and track irregularities.

The thesis ends with conclusions and summary of the results.

The author of this thesis published 7 research (scientific) articles: 4 articles at ISI WEB of Science magazines; 2 articles – at research review magazines in English, German, and French languages; 1 article – at reviewed materials of an international conference held in Lithuania. S. Dailydka is one of the co-authors of study books “Traukos riedmenų elektros pavaros ir jų valdymas” (Traction Rolling-Stock Electric Drives and their Operation).

---

# Turinys

IVADAS .....	1
Tiriamoji problema .....	1
Darbo aktualumas .....	2
Tyrimų objektas .....	4
Darbo tikslas .....	5
Darbo uždaviniai .....	5
Tyrimų metodika.....	5
Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė.....	5
Darbo rezultatų praktinė reikšmė .....	6
Ginamieji teiginiai .....	6
Darbo rezultatų aprobavimas .....	6
Disertacijos struktūra .....	7
1. MOKSLINĖS LITERATŪROS ANALIZĖ .....	9
1.1. Darbai, nagrinėjantys keleivių vežimo organizavimą .....	9
1.2. Darbai, susiję su komforto gerinimu .....	18
1.3. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas .....	21

2. KELEIVIŲ VEŽIMO GELEŽINKELIAIS ESAMOS PADĖTIES IR PERSPEKTYVŲ TYRIMAS .....	23
2.1. Keleivių vežimo vietiniais maršrutais analizė .....	24
2.2. Pagrindinės problemos keleivių vežimo sektoriuje .....	30
2.3. Keleivių vežimo perspektyvos .....	31
2.4. Pagrindiniai uždaviniai, keliami keleivių vežimo sektoriui .....	33
2.5. Investicijų poreikis .....	34
2.6. Keleivių vežimas Lietuvoje pagal atskiras transporto rūšis .....	35
2.7. Keleivinių riedmenų parko būklės analizė .....	39
2.7.1. Keleivinių riedmenų tipai .....	39
2.7.2. Keleivinių lokomotyvų skaičiaus pasiskirstymas pagal pagaminimo metus .....	40
2.7.3. Keleivinių vagonų parko bendroji analizė .....	41
2.8. Antrojo skyriaus išvados .....	47
3. MATEMATINIO MODELIO SUDARYMAS IR TAIKYMAS PRIEMONĖMS PARINKTI .....	49
3.1. Racionalių keleivinių sąstatų parinkimo privalumai .....	49
3.2. Keleivių srautai pagal ruožus ir vežimo priemonių parinkimo modelis .....	51
3.3. Matematinio modelio sudarymas .....	53
3.4. Optimizavimo metodų analizė .....	60
3.5. Matematinio modelio praktinis taikymas .....	67
3.6. Trečiojo skyriaus išvados .....	78
4. KOMFORTO GERINIMO KELEIVINIUOSE TRAUKINIUOSE VEIKSNIAI .....	81
4.1. Vibracijos poveikis keleiviams .....	82
4.1.1. Vibracijos vertinimo kriterijai ir metodika .....	84
4.1.2. Leidžiami vibracijos parametrai .....	86
4.2. Keleivinių vagonų važiuoklių pakabų optimalių parametru paieškos sąlygų nustatymas .....	88
4.2. 1. Tikslų funkcijos komponentai .....	89
4.2.2. Judesio greičio parinkimas .....	95
4.2.3. Optimalių vežimėlio pakabos parametru parinkimas .....	100
4.2.4. Pakabos elementu tikrinimas .....	110
4.3. Eksperimentiniai tyrimai .....	116
4.4. Darbe taikomų priemonių vežimo nuostoliu mažinimo galimybės .....	120
4.5. Ketvirtąjo skyriaus išvados .....	121



BENDROSIOS IŠVADOS .....	123
LITERATŪRA IR ŠALTINIAI .....	125
AUTORIAUS PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS .....	133
PRIEDAI .....	135
P1. Naujų konstrukcijų keleivių sėdynės .....	135
P2. Vagonų šildymas .....	138
P3. Maitinimo kultūra .....	141
P4. Paslaugų kompleksas .....	144
P5. Priemonių parinkimo modelio sprendinių paieškos MATLAB programos pavyzdys .....	145
P6. Ašidėžių pakabos parametrų patikrinamųjų rezultatų skaičiavimai .....	146



---

# Table of Contents

INTRODUCTION .....	1
The researched problem .....	1
Topicality of the problem.....	2
The research subject .....	4
The main goal of the work .....	5
Tasks of the work .....	5
Research methods .....	5
Novelty of the work and its significance.....	5
Practical significance of the results .....	6
Statements to be defended.....	6
Approval of the results of the work.....	6
Thesis structure .....	7
1. ANALYSIS OF THE RESEARCH LITERATURE.....	9
1.1. Works investigating the organizational aspects of passenger transportation .....	9
1.2. Works on the improvement of comfort .....	18
1.3. Conclusions of the first chapter and formulations of thesis tasks .....	21

2. RESEARCH OF THE EXISTING SITUATION OF RAILWAY PASSENGER TRANSPORTATION AND RELATED PERSPECTIVES .....	23
2.1. Analysis of passenger transportation at local routes .....	24
2.2. Main problems of the passenger transportation sector .....	30
2.3. Passenger transportation perspectives .....	31
2.4. Basic tasks raised for the passenger transportation sector.....	33
2.5. The need of investments .....	34
2.6. Passenger transportation flows in Lithuania per transport types .....	35
2.7. Passenger rolling-stock condition analysis .....	39
2.7.1. Types of the rolling-stock .....	39
2.7.2. Allocation of passenger locomotive numers based on the year of make.....	40
2.7.3. General analysis of passenger carriages stock .....	41
2.8. Conclusions of the second chapter .....	47
3. MAKING UP OF A MATHEMATICAL MODEL FOR THE SELECTION OF MEANS AND ITS APPLICATION .....	49
3.1. Benefits for the selection of rational passenger railway sets.....	49
3.2. Passenger flows per routes and transportation means selection model .....	51
3.3. Making of the mathematical model.....	53
3.4. Analsis of optimisation methods.....	60
3.5. Practical implementation of the mathematical model .....	67
3.6. Conclusions of the third chapter .....	78
4. COMFORT IMPROVEMENT FACTORS AT PASSENGER TRAINS.....	81
4.1. Impact of vibrations to the passengers .....	82
4.1.1. Vibration evaluation criteria and methods .....	84
4.1.2. Permitted vibration parameters .....	86
4.2. Defining of optimal parameters search conditions for passenger trains chassis .....	88
4.2. 1. Components of the target function .....	89
4.2.2. Selection of the travel speed .....	95
4.2.3. Selection of optimal parameters of undercarriage suspension .....	100
4.2.4. Checking the suspension elements.....	110
4.3. Experimental trials .....	116
4.4. Means for decreasing of the transportation losses applied at work .....	120
4.5. Conclusions of the fourth chapter .....	121

## TABEL OF CONTENTS

---

GENERAL CONCLUSIONS .....	123
LITERATURE AND REFERENCES .....	125
THE TITLE OF THE AUTHOR'S THESIS .....	133
ADDENDUM .....	135
P1. Newly designed passenger seats .....	135
P2. Heating of the carriages .....	138
P3. Catering ethics .....	141
P4. Set of services .....	144
P5. An example of means selection model solution search software matlab .....	145
P6. The verification results of calculation of axle suspension parametres .....	146



---

# Ivadas

## Tiriamoji problema

Spartus socialinis ekonominis Europos Sąjungos šalių vystymasis, technikos raida, pasaulinės prekybos globalizacijos tendencijos sukelia didžiulį aukštos kokybės transporto paslaugų poreikį. Šiuo metu egzistuojanti transporto paslaugų sistema, kurios pagrindas yra kelių transportas, jau negali tenkinti tendencingai augančių vartotojų transportinių poreikių. Vakarų Europos šalys, siekdamos užtikrinti saugą, ekologinę situaciją bei taupyti energinius ir kitus išteklius, ekonominėmis ir teisinėmis priemonėmis skatina keleivių vežimą geležinkeliu, o Lietuvoje taikomos vienodos lengvatos keliauti visuomeniniu automobilių kelių ir geležinkelių transportu. Nuolatos didėjantis individualių transporto priemonių skaičius, kelių transporto infrastruktūros plėtros ribotos galimybės, auganti transporto paklausa sukelia globalinių transporto problemų.

Geležinkelio transportas yra saugesnis, kur kas mažiau žalingas aplinkai, daug našesnis nei automobilių transportas, bet reikalaujantis didžiulių geležinkelio infrastruktūros investicijų, todėl geležinkelio transportas Europoje visų pirma remiamas finansiškai, suteikiant geležinkeliams paskolas lengvatinėmis sąlygomis, dengiant jų nuostolius dėl nuostolingos visuomeninės veiklos. Vakarų Europos šalyse didesnis dėmesys skiriamas keleivių vežimui geležinkeliu ir yra

labiau orientuotas į mažesnes pajamas gaunančius gyventojus nesiekiant iš šios veiklos pelno.

Būtina atsižvelgti į šalies gyventojų poreikių tenkinimą ekonominiu, socialiniu, aplinkos ir keleivių apsaugos požiūriu, užtikrinti ES principus dėl laisvo prekių ir žmonių judėjimo.

Esamo AB „Lietuvos geležinkeliai“ keleivinio riedmenų parko techninės galimybės artėja prie kritinės ribos – vidutinis parko amžius siekia 24 metus, kai daugumos keleivinių riedmenų resursas – 28 metai, vežamų geležinkelio transportu keleivių mažėja, o kartu mažėja ir pajamos.

Ilgalaikėje Lietuvos transporto sistemos plėtos strategijoje ir geležinkelių transporto sektoriaus reformos įstatyme numatytiems tikslams įgyvendinti neskiriama būtinų lėšų, todėl keleivių vežimo geležinkelių transportu perspektyva Lietuvoje nėra apibrėžta. Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodekse (Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodeksas... 2004) įtvirtinta nuostata dėl nuostolių, patirtų prisiėmus nuostolingą visuomenės aptarnavimo įsipareigojimą, kompensavimo, tačiau asignavimų valdytoja LR susisiekimo ministerija iš valstybės biudžeto skiria lėšas, kurios dengia labai nedidelę keleivių vežimo nuostolių dalį (per pastaruosius ketverius metus vidutiniškai buvo dengiama tik 8 proc. nuostolių). AB „Lietuvos geležinkeliai“ patiriamus nuostolius dengia iš pajamų, gaunamų iš krovinių vežimo. Kadangi valstybės institucijos kol kas nepajėgios kompensuoti visus nuostolius, patiriamus vežant keleivius, būtina ieškoti racionaliausių būdų, kaip padidinti pajamas ir sumažinti nuostolius šioje srityje. Šis disertacinis darbas kaip tik ir skiriamas minėtiems uždaviniams spręsti.

Pagrindiniai sprendiniai uždaviniai yra šie: kiekvienam maršrutui parinkti racionaliausias transporto priemonės bei jų sąstatas, įvertinus keleivių skaičiaus dinamiką ruožuose, atstumus, maksimizuojant pajamas ir minimizuojant išlaidas; didinti traukiniais važiuojančių keleivių skaičių pažangiomis organizacinėmis (maršrutų traukinių dažniai) ir techninėmis (vibracijų mažinimas vagonuose, klimato sąlygų gerinimas, ergonomika) priemonėmis.

## Darbo aktualumas

Mokslinėje literatūroje stokojama pagrindų sprendinių, kuriais remiantis galima kompleksiškai įvertinti keleivių vežimo geležinkeliais pajamų didinimo ir išlaidų mažinimo galimybes.

**Mokslinė problema** – ištirti bei mokslškai pagrįsti keleivių vežimo geležinkeliais pajamų ir išlaidų priklausomybę nuo riedmenų derinių, techninių charakteristikų, traukos rūšies, kad galima būtų nustatyti pačius racionaliausius priemonių parinkimo variantus konkreitiems keleivių vežimo maršrutams, mak-



simaliai gerinti komfortą siekiant pritraukti kuo daugiau keleivių naudotis geležinkelių transportu ir mažinti iš šios veiklos patiriamus nuostolius.

**Mokslinės problemos ištirimo lygis.** Keleivių vežimą geležinkeliu tiek mūsų šalyje, tiek pasaulyje vienu ar kitu aspektu nagrinėja daugelis mokslininkų: Butkevičius, J.; Sivilevičius, H.; Podvezko, V.; Wang, H.; Cui, Y.; Li, B.; Yiy-ing, Zhang; Qiuyan, Peng; Siyu Tao; Weixiong Zha; Chaozhe Jiang; Bao, J.; Xin, L.; Tang, Z.; Zang, X.; Budai, G.; Maróti, G.; Dekker, R.; Huisman, D.; Kroon, L.; Li, K. P.; Gao, Z. Y.; Mao, B. H.; Cao, C.; Kuznecova, N. V.; Morozova, M. V.; Lisenko, O. A.; Celebi, D.; Bolat, B.; Bayraktar, D.; Sahin, B.; Yilmaz, H.; Ust, Y.; Guneri, A.F.; Gulsun, B.; Bažant, M.; Kavička, A.; Shrivastava, P.; O'Mahony, M.; Kasturia, S.; Verma, A. ir kt. Mūsų šalies autoriai dažniausiai atliko ekspertinius tyrimus, išryškindami keleivių pageidavimus, nustatydami atskirų ruožų apkrovą, gvildendami keleivių vežimo nuostolingumo klausimus, konkurencingumo su automobilių transportu sąlygas bei „Rail Baltica“ projekto galimybes.

Rytų šalių, kuriose yra dideli keleivių srautai, autoriai dažniausiai nagrinėja eismo programavimo vežti keleivius ilgais atstumais klausimus. Keliamos tokios problemos, kaip keleivių persodinimas, traukinių jungčių skaičius, nagrinėjama ekonominė nauda ir nuostolingi keleivinių traukinių srautai, vėlavimo problemos.

Kai kurie autoriai (Manoj, Schonfeld, Sutapa 2007) nagrinėja išlaidų mažinimo klausimus tiesiant naujas tranzitinių traukinių linijas.

Gvildinama labai svarbi geležinkelio riedmenų pusiausvyros atkūrimo problema, kai dėl kintančių aplinkybių būtina keisti tvarkaraščius (Budai, Maróti, Dekker, Huisman, Kroon 2010).

Kai kurie autoriai (Morozova 2009; Lisenko 2006) keleivių išlaidų mažinimą sieja su keleivinių riedmenų eksploatacinių rodiklių gerinimu, taupant lėšas traukai, remontui, personalo skaičiaus mažinimui diegiant naujas technologijas ir pan.

Nagrinėjami klausimai, kai parenkamos dvi ar daugiau transporto rūšys, pvz., traukinys ir autobusas. Tai leidžia išvengti spūsties keliuose ir racionaliai naudoti vežimo priemones. Autoriai Shrivastava, P. ir O'Mahony, M. (2009) tiria privažiuojamųjų kelių maršrutus ir koordinuotus tvarkaraščius pasirinktose geležinkelio stotyse.

Apžvelgtos pasaulinės mokslinės tendencijos, ieškant racionalių keleivių vežimo metodų, rodo, kad pagrindinis dėmesys skiriamas problemoms, kurias sukelia dideli keleivių srautai ir ilgi atstumai. Tačiau praktiškai nėra pasaulinio masto darbų keleivių vežimo organizavimo klausimais, kai keleivių srautai ir atstumai nėra dideli, kas būdinga Lietuvos sąlygomis, t. y. dėl mažo keleivių skaičiaus pajamos staigiai mažėja, o sąnaudos mažėja labai nedaug.

Taigi labai svarbus aspektas – pritraukti kuo daugiau keleivių į geležinkelių transportą. Tai pasiekama ne tik organizacinėmis, bet ir techninėmis priemonėmis gerinant komfortą vagonuose. Čia pagrindinis veiksnys – vibracijų mažinimas. Šiuo klausimu pasaulyje dirba daug autorių, iš kurių paminėti šie: Rekleitis, G.; Reivindran, A.; Regsdel, K.; Michailičenko, G. S.; Kovalev, R. V.; Polak, E.; Bestle, D.; Eberhard, P.; Kalker, J.; Schiehlen, W.; Erikson, P.; Arora, J. S.; Snyman, J. A.; Jones, D. R.; Perttunen, C. D.; Stuckman, B. E.; Jefimova, G. N.; Keršys, R.; Bazaras, Ž.; Lingaitis, L. P.; Dailydka, S.; Myamlin, S.; Prichodko, V.; Morozov, N. I.; Žižko, V. V.; Lazarian, V. A.; Korotenko, M. L.; Uškalov, V. F.; Danovič, V. D.; Nikolajev, V. A.; Sokolov, M. M.; Varava, V. G.; Levit, G. M.; Manaškin, L. A.; Veršinskij, S. V.; Danolov, V. N.; Chusidov, V. D.; Reznikov, L. M.; Redko, S. F.; Kamajev, V. A.; Kozlov, M. P. ir daugelį kitų. Visi jie nagrinėjo vagonų vibracijos klausimus, nustatinėdami važiuoklių pakabų parametrus priklausomai nuo kelio sužadavimo funkcijos.

Tam taikomi įvairūs kompiuterinės realizacijos optimizavimo metodai. Atlikta programavimo algoritmų analizė leidžia išskirti Huko–Dživso, Neldelio–Mido, Devidono, Fletčerio, Pauelo metodus. Pastarasis dažniausiai ir taikomas.

Sprendžiant globalius optimizacijos uždavinius tinkami ir kiti metodai. Juos galima suskirstyti į tokias grupes: 1) metodai, kurių pagrindą sudaro lokalinės paieškos metodai; 2) tiesioginiai globalinės paieškos metodai (genetiniai algoritmai, imitacijos metodas, DIRECT metodas); 3) metodai, naudojantys paviršiaus atspindžio aproksimaciją ir (arba) skaičiavimo schemas.

Taigi išanalizavus mokslinę literatūrą šiuo klausimu matyti, kad pasaulyje atlikta gana daug darbų sprendžiant virpesių klausimus pačioje pakaboje. Tačiau nėra darbų, kuriuose sprendžiamas vientisas uždavinys (kelias, pakaba, vagonas) esant įvairiems vagono greičiams. Todėl šios darbo dalies siekis yra:

1. Sudaryti tikslo funkciją iš pakabos bedimensių dinamikos koeficientų, lemiančių pakabos kokybę.
2. Parinkti optimalią šių koeficientų visumą esant įvairiems greičiams.
3. Sudaryti optimizuotų pakabos elementų atsparumo skaičiavimo algoritmą.

## Tyrimų objektas

Tyrimų objektas – keleivių vežimo geležinkelių transportu priemonės. Pagrindinis dėmesys kreipiamas į keleivinių traukinių maršrutų ir naudojamų priemonių techninių charakteristikų analizę, parenkant riedmenų derinius konkreitiems maršrutams pagal keleivių skaičių ir racionaliausią trauką bei gerinant keleivių komfortą.

## Darbo tikslas

Parengti kompleksinius teorinius ir praktinius sprendinius, skirtus didinti pajamas bei mažinti patiriamus nuostolius iš keleivių vežimo geležinkeliais, įvertinus technologinius konkrečių ruožų poreikius bei dinamiškai kintančius keleivių srautus, gerinti keleivių komfortą ir pritraukti kuo daugiau keleivių į geležinkelių transportą.

## Darbo uždaviniai

1. Išanalizuoti pasaulinėje mokslinėje literatūroje su keleivių vežimu geležinkeliais susijusias problemas ir jų sprendimo būdus.
2. Ištirti susidariusią padėtį keleivių vežimo geležinkeliais sektoriuje, nustatyti jo reikšmę šalies ūkiui.
3. Nustatyti keleivių vežimo geležinkeliais pajamų ir išlaidų komponentes bei identifikuoti jų priklausomybę nuo techninių riedmenų parametrų.
4. Sudaryti keleivių vežimo geležinkeliais racionalių priemonių parinkimo matematinį modelį.
5. Modeliui taikant netiesinių lygčių su daugeliu kintamųjų ir apribojimais ekstremumo paieškos metodą, parinkti riedmenis konkretiems maršrutams keleivių vežimo Lietuvos geležinkeliais pavyzdžiu.
6. Parengti riedmenų komforto charakteristikų gerinimo rekomendacijas mažinti vagonų vibracijas, parenkant racionalius parametrus vežimėlių pakaboms, esant įvairiems greičiams.

## Tyrimų metodika

Darbe taikyti regresinės analizės, matematinio modeliavimo, globalios optimizacijos metodai.

## Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė

Sukurtas modelis minimizuoti keleivių vežimo geležinkeliu nuostolius, įvertinant maršrutų keleivių skaičiaus kitimo dinamiką, naudojamas traukos rūšis ir visas pajamų ir išlaidų sudedamąsias dalis. Optimizavus tikslo funkciją, pateikiami racionaliausi konkretaus maršruto traukinių variantai.

Sudaryta tikslo funkcija racionaliems keleivinių vagonų vežimėlių pakabų parametrams nustatyti ir sumažinti vagonų virpesius iki minimumo, siekiant pagerinti traukinio tolygios eigos rodiklius  $W$ .

## Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbo rezultatai suteikia galimybę naudoti ekonomiškiausias maršrutų traukos rūšis ir traukinius, optimizuoti keleivinių riedmenų parką įsigyjant naujus riedmenis, nustatyti reikalavimus keleivių komfortui. Tai leis pritraukti daugiau keleivių ir mažinti bendrąsias keleivių vežimo geležinkeliais sąnaudas.

## Ginamieji teiginiai

1. Optimalių sąstatų kiekvienam maršrutui parinkimo metodika.
2. Priemonių parinkimo modelis, įvertinantis ne tik technines riedmenų galimybes, bet ir visas kitas pajamų bei išlaidų sudedamąsias dalis vežant keleivius geležinkelių transportu.
3. Tikslo funkcija skirta vežimėlių pakabų parametrams optimizuoti, esant įvairiems greičiams, ir iki minimumo sumažinti vagonų virpesius, užtikrinant traukino stovumą ir tolygią eigą.

## Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema išspausdinti 7 moksliniai straipsniai: keturi – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Science Citation Index Expanded (Web of Science)* sąrašą (Dailydka 2010; Liudvinavičius, Lingaitis, Dailydka, Jastremskas 2009; Dailydka, Lingaitis, Myamlin, Prichodko 2008a; Dailydka, Lingaitis, Myamlin, Prichodko 2008b); du – kituose recenzuojamuose mokslo leidiniuose (Dailydka, Lingaitis 2009; Lingaitis, Dailydka, Myamlin, Prichodko 2008), vienas – recenzuojamame Lietuvos tarptautinės straipsnių rinkinyje medžiagoje (Dailydka 2009).

Disertacijoje atliktų tyrimų rezultatai buvo paskelbti trijose tarptautinėse mokslinėse konferencijose:

- 68-ojoje tarptautinėje mokslinėje-praktinėje konferencijoje „Geležinkelio transporto vystymo problemos ir perspektyvos“ 2008 m. Dniepropetrovske (Ukraina);
- tarptautinėje konferencijoje „TRANSBALTICA 2009“ 2009 m. Vilniuje;

- IV tarptautinėje mokslinėje-praktinėje konferencijoje „Imlių mokslui technologijų diegimas magistraliniame ir pramoniniame geležinkelio transporte“ 2008 m. Jaremče (Ukraina).

## **Disertacijos struktūra**

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir bendrosios išvados, literatūros sąrašas ir šaltiniai, autoriaus publikacijų sąrašas disertacijos tema bei priedas.

Darbo apimtis – 134 puslapiai be priedų, tekste naudotos 44 numeruotos formulės, 71 paveikslas ir 36 lentelės. Rašant disertaciją buvo panaudoti 78 literatūros šaltiniai.



---

## Mokslinės literatūros analizė

Literatūros apžvalgoje analizuojami keleivių vežimo geležinkeliais tyrimo darbų, atliktų tiek mūsų šalyje, tiek visame pasaulyje, rezultatai dviem aspektais. Pirma, apžvelgiami moksliniai darbai, nagrinėjantys organizacinius keleivių vežimo geležinkeliais klausimus, antra, keleivių vežimo priemonėms tobulinti skirti moksliniai darbai, siekiant pritraukti į geležinkelio transportą kuo daugiau keleivių, taip didinti transporto įmonių gaunamas pajamas ir mažinti patiriamus nuostolius.

### 1.1. Darbai, nagrinėjantys keleivių vežimo organizavimą

Darbe (Maskeliūnaitė, Sivilevičius, Podvezko 2009) pateikta keleivių vežimo kokybę rodančių veiksnių sieties schema, kurios elementai atitinka apklausos anketos struktūrą. Pateikti skaičiavimo pavyzdžiai, susisteminti ir apdoroti anketiniai keleivių apklausos duomenys, išanalizuota apklausoje dalyvavusių keleivių nuomonė. Pateikiamos tyrimais pagrįstos išvados ir rekomendacijos keleivių vežimo Lietuvos geležinkeliais kokybei gerinti. Ypatingą dėmesį reikia kreipti į skirtingus keleivių poreikius, tikslus ir galimybes. Autoriai tai rekomenduoja

daryti nuolat rengiant keleivių apklausas, akcentuoja geras komforto sąlygas keleiviams pritraukti.

Straipsnyje (Butkevičius 2009) pagal autoriaus atliktus tyrimus indentifikuotos keleivių vežimo šalies geležinkelių transportu problemos – keleivių srautų mažėjimas, vežimo savikainos augimas, nepakankamas nuostolingų vežimo finansavimas, nevienodos konkurencinės sąlygos su kelių transportu, trūkumai įstatymų bazėje ir kt. Remiantis ES patirtimi, siūloma plėsti keleivių vežimą šalies geležinkelių transportu. Straipsnyje pateikti autoriaus parengti siūlymai visuomenės aptarnavimo išipareigojimų vykdymo strategijai formuoti. Siūlymai apima tiek valstybės nuostatų formavimą ir įgyvendinimą keleivinio transporto srityje, tiek konkrečias geležinkelių transporto priemones.

Darbe (Butkevičius 2007) išnagrinėti perspektyviniai Vilniaus–Varšuvos maršruto keleivių srautai, pateikti konkurencinės srities keleivių vežimo šiuo maršruto tyrimų rezultatai, išanalizuoti traukinio paleidimo techniniai ir ekonominiai aspektai, rinkodaros strategija, pateiktos tokio traukinio paleidimo sąsajos su „Rail Baltica“ projektu, atlikta SSGG (stiprybės, silpnybės, galimybės, grėsmės) analizė. Tačiau šio projekto įgyvendinimas priklauso nuo kelių Baltijos šalių ir bendro ES požiūrio. Bėgant laikui nuomonės keičiasi, pastaruoju metu jaučiami teigiami poslinkiai.

Traukinių eismo programavimas yra nepaprastai svarbus organizuojant keleivių vežimą. Keleivių specialiųjų linijų traukinių programavimas gerokai skiriasi nuo kitų esamų linijų. Wang, Cui, Li straipsnyje (2009) nagrinėjamos keleivių specialiosios linijos traukinių programavimo sąlygos, ilgų atstumų keleivių vežimo metodas ir priimtino geležinkelio linijos maršruto atstumo klausimas. Teigiama, kad specialiosios keleivių linijos traukinių programavimas turėtų būti sudaromas atsižvelgiant į esamų greitųjų linijų traukinių programavimą; ilgųjų atstumų keleivių vežimo metodas organizuojamas derinant tarplinijinio traukinio eigą ir keleivių persodinimą. Straipsnyje pateikiamas metodas, kaip apskaičiuoti tinkamą specialiosios keleivių linijos atstumą. Apskaičiavus daroma išvada, kad konkurencingas specialiosios keleivių linijos traukinio maršruto atstumas Kinijoje sudaro nuo 100 km iki 1550 km. Šis metodas galėtų būti taikomas tik tuomet, kai keleivių skaičius būtų bent 50 kartų didesnis nei Lietuvoje.

Iš pradžių Zhang, Peng straipsnyje (2008) analizuojama keleivių transporto struktūra ir ypatybės, reikalingos siekiant užtikrinti integruotąją transporto sistemą. Keliamos tokios problemos, kaip keleivių persodinimas, traukinių jungčių skaičius, koordinavimas ir bendradarbiavimas, stoties pajėgumai. Po to siūlomas integruotąją transporto sistema grindžiamas tinklo modelis ir aprašomas naujas keleivių persodinimo metodas, sukurtas remiantis esama mokslinė literatūra. Atsižvelgiant į integruotosios transporto sistemos ir keleivių transporto sistemos ypatybes, tinklą sudaro keleivių stotys ir tarp stočių esančių traukinių skaičius. Analizuojant šį modelį išryškinama kombinuota didelio masto integruotųjų



transporto sistemų tinklų optimizavimo, skirtingų transporto modulių derinimo problema, tikslinė eismo organizavimo įvairovė, susijusi su persodinimo ir tinklo optimizavimo problemomis. Galiausiai, teigdami, kad problemą nesunku išspręsti pasitelkus genetinį algoritmą, autoriai pateikia genetinį algoritmą ir nurodo pagrindinį sprendimo procesą.

Analizuodami geležinkelių keleivinių traukinių planavimo ekonominės naudos elementus, Tao, Peng, Zha, Jiang (2007) straipsnyje pateikia skaičiavimo metodą, pagal kurį gali būti apskaičiuotos įplaukos, sąnaudos, ekonominė nauda ir nenuostolingas keleivinių traukinių srautas. Pabaigoje pateikiamas pavyzdys, kuriuo parodoma, kad keleivių traukinių planavimo ekonominis vertinimas yra praktiškas ir įgyvendinamas. Jis gali padėti priimant sprendimus dėl geležinkelių keleivių vežimo sistemos komercinės plėtros. Modelis vėlgi neįvertina socialiai būtinų, bet nuostolingų ruožų eksploatacijos.

Pastaruoju metu geležinkelių keleivių transporto sistema sparčiai plečiasi, vėžliai tiesiamos specialiosios keleivių linijos, tačiau tuo pačiu metu vis svarbesnė traukinių vėlavimo problema. Siekiant pritraukti daugiau keleivių ir pagerinti keleivių transporto struktūrą, naudojama periodinė traukinių diagrama (Bao, Xin, Tang, Zang 2009), skirta spręsti problemą trimis – atstumo, rezervuotų linijų naudojimo ir traukinių sustojimų – aspektais.

Geležinkelių linijų ir stočių lokalizavimas yra sudėtinga problema, nes galimų pasirinkimų skaičius yra tiesiog astronominis, reikalavimų ir apribojimų labai daug, o kiekvieno pasirinkimo vertinimas grindžiamas daugybe veiksmingumo skaičiavimų. Be to, norint apskaičiuoti tam tikrus veiksmingumo dydžius, reikalingas didžiulis įvairaus pobūdžio geografinės informacijos kiekis. Pavyzdžiui, norint įvertinti tranzito stočių prieinamumą ir su tuo susijusį prieigos laiką bei įtaką paklausai, reikalingi detalūs erdviniai duomenys apie namų ūkių padėtį ir pobūdį. Norint įvertinti statybos sąnaudas, būtina detali informacija apie esamus kelių tinklus, topografiją ir geologiją, o norint nustatyti geležinkelio ruožo sąnaudas reikalinga nuodugni informacija apie žemės naudojimą ir žemės kainas. Manoj, Schonfeld, Sutapa (2007), straipsnyje sprendami geležinkelių linijų optimizavimo problema, pasitelkia genetinį algoritmą ir geografinės informacijos sistemą. Pagal pasirinktąjį modelį nustatomos ir įvertinamos dviejų tipų sąnaudos: 1) operatoriaus sąnaudos, kurias sudaro su geležinkelių tiesimu susijusios sąnaudos, stočių statybos sąnaudos, geležinkelio ruožo, žemės darbų ir traukinių operavimo sąnaudos; 2) vartotojo sąnaudos, kurias sudaro prieinamumo kaina, kelionės ir laiko, praleisto laukiant, sąnaudos. Modelis pritaikytas Anne Arundel apygardos (Merilendas) segmentui, siekiant naujai optimizuoti tarp dviejų stočių esančią lengvojo traukinio tranzito liniją, jungiančią Glen Burnie miestą ir Baltimorės Vašingtono tarptautinį oro uostą. Čia pristatomas prototipinis modelis pagal naudotus kriterijus duoda labai gerų rezultatų ir jis gali būti pritaikytas atliekant išsamesnius ir sudėtingesnius vertinimus. Kartu aptariami

papildomi veiksniai ir išlaidų komponentai, jei taikomi sudėtingesni modeliai. Šis modelis iš dalies galėtų būti taikytinas „Rail Baltica“ linijai, jungiančiai Varšuvą ir Taliną.

Analizuojamos sisteminės Rusijos transporto sistemos problemos (Filina 2008), kliudančios jai plėstis ir jos konkurencingumui augti. Apžvelgiama pagrindinių atskirų transporto rūšių rodiklių dinamika, aptariami teritoriniai transporto infrastruktūros pakankamumo skirtumai, problemos, susijusios su sparčiai augančiu lengvųjų automobilių skaičiumi keliuose, tranzito potencialo naudojimo klausimai. Ypač daug dėmesio skiriama geležinkelių transporto konkurencingumui, pristatomos ilgalaikės geležinkelio plėtros strategijos.

Budai, Maróti, Dekker, Huisman, Kroon (2010) straipsnyje nagrinėjama vadinamoji geležinkelių riedmenų pusiausvyros atkūrimo problema (toliau – GRPAP), kuri kyla keleivinio geležinkelių transporto operatoriams, kai dėl kintančių aplinkybių būtina keisti tvarkaraščius. GRPAP aktuali tiek vykdant trumpalaikį planavimą, tiek vykdant operacijas realiuoju laiku.

GRPAP daro įtaką tvarkaraščiui ir geležinkelio riedmenų judėjimui, kai riedmenų paskirstymas tarp stočių tam tikro planavimo laikotarpio pradžioje ir pabaigoje nesutampa su paskirstymu prieš ar po planavimo periodo. Tada kyla klausimas – kaip sutvarkyti esamą riedmenų judėjimą taip, kad likusių neatitikimų skaičius būtų kuo mažesnis. Išsprendus visas neatitikimų problemas, gautą riedmenų judėjimo tvarką galima taikyti praktiškai.

Tam, kad GRPAP sprendimus būtų galima taikyti praktiškai, svarbu problemą spręsti greitai. Teigiama, kad GRPAP yra eksponentinės (NP) klasės algoritmo tipo, todėl dėmesys kreipiamas į euristines (loginių ir metodinių taisyklių visuma) sprendimo paieškos prieigas: aprašomi du euristiniai variantai ir lyginami tarpusavyje, atsižvelgiant į realius pagrindinio Nyderlandų keleivinių geležinkelių linijų operatoriaus pavyzdžius. Galiausiai pasiūlytų euristinių variantų kokybei įvertinti jų rezultatai lyginami su geriausiais sprendiniais, gautais sprendžiant esamo geležinkelio riedmenų judėjimo modelio problemas.

Geležinkelių tinklo naudojimo optimizavimo problemos sprendžiamos pasitelkus vadinamąją judėjimo tyrimo strategiją (angl. *Walk Search Strategy*). Siūlomas algoritmas, kuriuo geležinkelių tinklas tiriamas atsižvelgiant į keleivio judėjimo ribas. Remdamasis keliomis pasirinkimo taisyklėmis, keleivis gali dinamiškai nustatyti geriausią traukinių judėjimo kelią. Pateikti du skaičiavimų pavyzdžiai, kuriais išbandomas judėjimo tyrimo algoritmas geležinkelio tinklo daliai (Li, Gao, Mao, Cao 2009). Rezultatai rodo, kad siūloma prieiga yra veiksminga priemonė optimizuoti geležinkelių tinklo naudojimo problemą. Tačiau toks algoritmas netinka Lietuvos geležinkelių tinklo sąlygomis, nes judėjimo kryptys gana ribotos.

Ir transporto bendrovei, ir keleiviui svarbu, kad būtų sukurtas tarpmiestinių keleivinių traukinių veiklos planas ir nustatyta bilietų kaina. Šiuo metu pasaulyje

plačiai vykdomi tyrimai, susiję su šiomis dviem problemomis. Manoma, kad būtent jų sprendimas yra ypač vertingas geležinkelių transporto įmonėms priimanant sprendimus. Analizuojant šias problemas, tiriama tarpmiestinių keleivinių traukinių transporto sistema ir daroma išvada, kad pagrindiniai veiksniai ateityje, darysiantys įtaką keleivių srautui, bus tarpmiestinis keleivių vežimo veiklos planas ir bilietų kainos. Pateikiamas daugiatakslis modelis (Hu, Yan, Qiu 2008), kuriuo remiantis sudaromas tarpmiestinio keleivių vežimo veiklos planas ir nustatomos bilietų kainos. Toks modelis taikomas keleiviams vežti tarp Chengdu ir Chongqing vietovių.

Tyrimai (Кузнецова 2007) rodo, kad pagrindinės priemiestinių traukinių paslaugų charakteristikos yra šios: mažas pareikalavimas, žemas pelningumas, nėra tinkamos reklamos, tradicinės paslaugos nusibodo vartotojams, jie laiko jas neprestižinėmis ir rado joms pakaitalą. Kai keleivių vežimo paslaugų rinkoje pasirodė papildomai komerciniai autobusai ir maršrutiniai taksi, daugelis buvusių geležinkelio keleivių liovėsi naudotis šia paslauga ir atidavė pirmenybę alternatyviems vežimams (automobiliams) ir dėl to poreikis važiuoti priemiestiniais geležinkeliais sumažėjo. Taigi norint susigrąžinti buvusius geležinkelio klientus ir pritraukti naujus, būtina taikyti racionalias *organizacines ir technines priemones, patogias keleiviui, garantuojant komforto sąlygas traukiniuose*.

Darbe (Мопозова 2009) nagrinėjamos eksploatacinių išlaidų mažinimo rezervinės galimybės gerinant kokybinius eksploatacinius geležinkelio riedmenų rodiklius atskiriant keleivių vežimo įmones pagal teritorines ir funkcines organizacines-gamybines struktūras. Mūsų šalies sąlygomis tai nėra taikytina, nes keleivius geležinkeliais veža vienintelė įmonė – AB „Lietuvos geležinkeliai“, be to, tai nebūtų tikslinga esant palyginti nedidelei teritorijai ir santykinai mažam keleivių skaičiui.

Disertacijoje (Лисенко 2006) analizuojama geležinkelių įmonės veikla išskiriant techninius einamųjų išlaidų valdymo aspektus. Nustatyta, kad pagrindinės išlaidas sudaro išlaidos geležinkelio riedmenų traukai (riedmenų eksploatacija (46 proc.) ir lokomotyvų brigadų išlaikymas (40 proc.) nuo bendros išlaidų apimties). Tai leidžia teigti, kad personalo skaičius ir priežiūros darbų imlumas bei riedmenų remontas yra pats svarbiausias veiksnys nagrinėjant išlaidų dinamiką. Taigi, diegiant pažangias technologijas, galima gerokai sumažinti aptarnaujančiojo personalo skaičių, kartu mažinti ir bendrąsias išlaidas.

Autorius nagrinėja viso priemiestinio keleivių vežimo komplekso efektyvumą, remdamasis integraliniu (suminiu) finansiniu rezultatu. Disertacijoje nurodoma, kad pagrindinės išlaidos susijusios su gausiu personalo skaičiumi bei riedmenų remontu ir priežiūra. Nagrinėjama daugybė lengvatinių sąlygų, teisinė sistema, organizacijų visuma, kurios kompensuoja dalį išlaidų ir pan. Mūsų atveju paslaugų veiksniai nelemia bendrųjų išlaidų.

Darbe pateikti orientaciniai duomenys apie kompensacijų apimtį keleiviniam geležinkelių transportui kitose šalyse (1.1 lentelė).

**1.1 lentelė.** Vidutinės metinės kompensacijų apimtys keleiviniam geležinkelių transportui įvairiose pasaulio šalyse

**Table 1.1.** The average annual compensation for passenger rail transport in the different countries

Šalis	Įmonė, vežanti keleivius	Vidutinė valstybinė metinė kompensacija*, mln. EUR	Vidutinė valstybinė metinė kompensacija*, euro centais/kel. km
JAV	Amtrak (valstybinė įmonė)	900	12
Kanada	VIARAIL (valstybinė įmonė)	1800	13,8
Prancūzija	SNCF (valstybinis vežėjas – krovinių ir keleivių vežimas)	1731	2,5
Vokietija	Antrinė DBAG įmonė ir panašios įmonės	4300	5,9
Didžioji Britanija	Privačios įmonės	1727	4,5

\*Duomenys be subsidijų infrastruktūrai išlaikyti.

Viešojo transporto (Celebi, Bolat; Bayraktar 2009) strateginio ir detalaus planavimo sėkmė labai priklauso nuo informacijos apie poreikius tikslumo. Trumpalaikės prognozės yra tokių transporto operacijų, kaip eismo tvarkaraščių sudarymas ir vietų paskirstymas, pagrindinis sėkmingo planavimo elementas. Trumpalaikių keleivių poreikių prognozavimo modeliams, kurie bus naudojami lengvojo geležinkelio transporto eksploataciniam valdymui, parengti šioje studijoje naudojama *Neural Networks* technologija. Daugiasluoksniu suvokimo (MLP) modelis pasirenkamas ne tik dėl paprastos architektūros, bet ir dėl sėkmės sprendžiant suderinamumo problemas. Siekiant išvengti svarbaus tvarkaraščių laikų sezoniskumo, kiekvienas tvarkaraščio laikas nagrinėjamas individualiai ir atskirai nuo kitų, kiekvienam jų remiantis kiekvienos dienos informacija bus parengta dirbtinė *Neural Networks* programa. 74 skirtingiems tvarkaraščio laikams naudojant surinktą ankstesnę informaciją parengiamos 74 programos. Vienam grafiko laikui pateikiami trys iliustratyvūs pavyzdžiai, o prognozių modelių veiksmingumas vertinamas remiantis vidutiniu kvadratinio paklaidų dydžiu (MSE) ir vidutiniu absoliučiu paklaidų procentiniu dydžiu (MAPE).

Kelių ir geležinkelių transportas konkuruoja veždami keleivius (Butkevičius, Jarašūnienė, Jackiv 2008). Kaip alternatyvios transporto rūšys, automobilių kelių ir geležinkelių transportas lyginami pagal vežimo sąnaudas, tarifus, energinius ir aplinkosaugos aspektus, transporto priemones ir riedmenų parką, pagal investicijas šioms transporto rūšims. Tačiau vienas svarbiausių transportavimo rodiklių yra eismo saugumas. Šiame straipsnyje lyginamas automobilių ir geležinkelių transportas eismo saugumo požiūriu, kur prioritetas teikiamas geležinkeliams.

Geležinkelių transportas, vežant Lietuvos keleivius ir krovinius, vaidina svarbų vaidmenį. Transporto rinkoje jis konkuruoja su kitomis transporto rūšimis, tokiomis kaip automobilių kelių, jūrų ir oro transportas. Gabenimo geležinkelio transportu procesui tobulinti labai svarbu žinoti jo stipriąsias ir silpnąsias puses bei galimybes. Todėl Butkevičiaus straipsnyje (2008) atskirai pateikiama keleivių ir krovinių vežimo geležinkeliu SSGG (stiprybių, silpnųjų, galimybių, grėsmių) (angl. SWOT, *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*) analizė.

Buvo atlikta nemažai skirtingų studijų, nagrinėjančių išsivysčiusių šalių ir jų keleivių vežimo proceso efektyvumą. Nepaisant to, suformuotas nedidelis supratimas apie pasaulio geležinkelio sektoriaus, o ypač keleivių segmento rezultatus. Hilmola darbe (2009) ilgalaikės perspektyvos rezultatams vertinti naudojami du duomenų aplinkos analizės efektyvumo nustatymo modeliai. Tyrimų rezultatai parodė, kad nepaisant to, koks modelis naudotas, dominuoja Japonija, o skirtumai tarp šalių bei regionų yra ryškūs. Tačiau galima daryti bendrą išvadą, kad po 1990 metų vidutiniškai keleivių vežimo rodikliai pagerėjo, tai ypač išryškinta keleivių kilometrų DEA (aplinkos duomenų analizės) modelyje.

Vienas svarbiausių parametru nustatant optimalią transportavimo sistemą yra ekonominė nauda. Dėl to sąnaudų analizei reikalingas metodas, kuris būtų pagrįstas techniniais, ekonominiais ir eksploataciniais įvairių transporto rūšių, o būtent automobilių kelių, geležinkelių ir jūrų kelių, parametrais. Taikant šį metodą (Sahin, Yilmaz, Ust, Guneri, Gulsun 2009), įvertintas galimas kainų kilimas tam tikros transporto sistemos gyvavimo laikotarpiu. Turi būti įvertintos krovinių vieneto gabenimo arba keleivių vežimo sąnaudos kelio ilgiui, nes tai yra ekonominis rodiklis. Šiame darbe pateikiamas transporto pajamų ir išlaidų analizės būdas, paremtas krovinių ir keleivių vežimo alternatyviomis transporto rūšimis ekonomine analize.

Europos Sąjunga investuoja daug lėšų į transporto sistemos modernizavimą ir transporto infrastruktūros darninimą. Dėl vežimo geležinkeliais pastaraisiais metais buvo priimta nemažai teisinių dokumentų, susijusių su krovinių ir keleivių vežimu, sauga, licencijų ir paslaugų kokybės suvienodinimu. Europos Komisijos reglamentas Nr. 1371/2007 dėl keleivių teisių ir pareigų kartu su Direktyva 2007/58EC dėl tarptautinių keleivių paslaugų liberalizavimo ir Direktyva 2007/59EC dėl traukinių mašinistų licencijavimo yra bendrai vadinami „Tre-

čiuoju geležinkelių paketu“. Tai naujausi dokumentai iš serijos, skirtos atgaivinti geležinkeliams ir pasistūmėti į priekį kuriant integruotą Europos geležinkelio tinklą. Europos reglamentas dėl keleivių teisių ir pareigų nustato geležinkelio keleivių teises ir pareigas, kad geležinkelio keleivių transportas būtų efektyvesnis ir patrauklesnis (Durdev 2009).

Paprastai transporto sektoriaus dalyviai vertinami nacionaliniu arba įmonės lygmeniu pagal daugelį rodiklių neišryškinant visos sistemos veiklos ir šių rodiklių esmės (riba tarp indėlio ir rezultato yra neaiški). Tyrime (Savolainen, Hilmola 2009) siūlomi duomenų aplinkos analizės (DEA) efektyvumo modeliai, skirti krovinių ir keleivių transportui tiek oro keliais, tiek geležinkeliais. Analizės, atliktos platesnėje Europoje, rezultatai parodė, kad skiriasi daugiausia geležinkelio operacijų efektyvumas, tačiau dalyvių specializacija yra abiejuose transporto sektoriuose.

Imitaciniai modeliai, atspindintys transporto sistemų eksploatavimą, turėtų naudotis atitinkamų sprendimų priėmimo procesų realizacija. Šiame kontekste reikia suformuoti arba atrinkti atitinkamus modelius ir metodikas. Dėmesys skiriamas specifinei eksploatacinei problemai, susijusiai su platformos kelių paskyrimu vėluojantiems traukiniams keleivinių geležinkelio stočių imitaciniame modelyje. Tirtas (Bažant, Kavička 2009) dvisluoksnės *Neural Network* technologijos naudojimas darant sprendimus minėtai kelio paskyrimo problemai spręsti. Nagrinėjant nurodytą problemą ši *Neural Network* programa parodė daug žadančius rezultatus, dėl kurių galimas pelningas jos naudojimas. Tai reiškia, kad kyla atitinkamų imitacinių modelių kokybė ir turi būti padidintas iš to išplaukiantis imitacinių studijų geležinkelio įmonėms patikimumas.

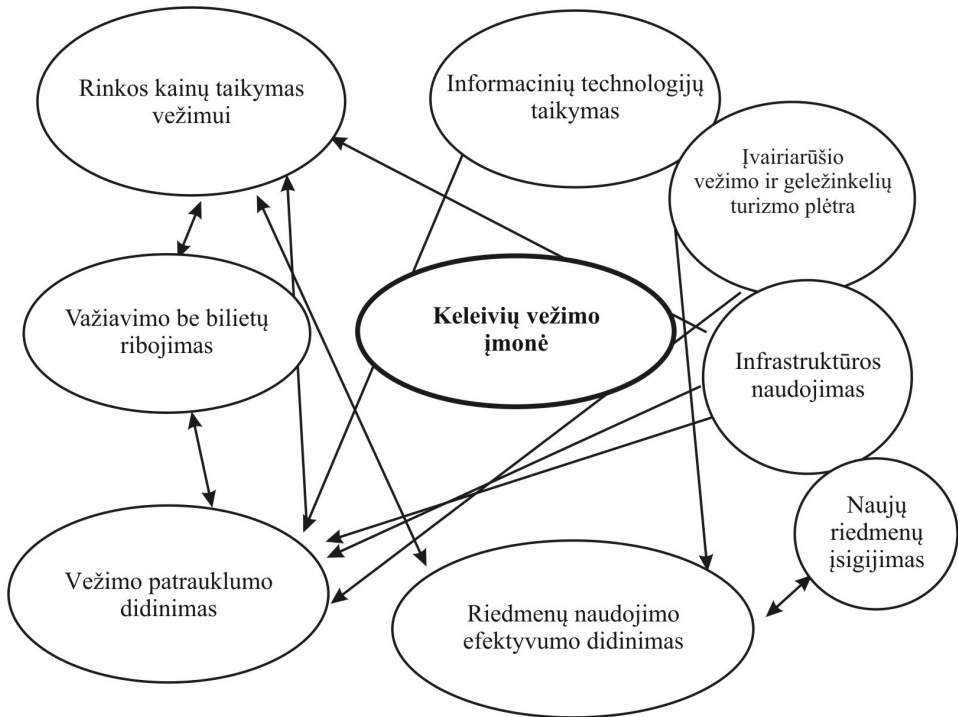
Pastaraisiais metais modernioms keleivių informavimo sistemoms keliami vis aukštesni reikalavimai. Tradicines sistemas dažniausiai sudaro daugybė posistemų, kurie vis labiau artėja prie eksploatacijos ribų. Naujoji *Ruf* grupės *VisiWeb* keleivių informavimo sistema yra paremta visų funkcijų įdiegimo bendroje sistemoje ir komunikavimo *Ethernet* koncepcija (Schraven 2008). Priklausomai nuo kliento reikalavimų, *VisiWeb* gali turėti vaizdo stebėjimo galimybę, monitorius, akustines sistemas, keleivių skaičiavimo sistemas, borto kompiuterius ir informacijos bei avarinius vidaus telefonus; sistema gali būti plečiama be galo. Įdiegti riedmenyse programų moduliai, naudojant standartines sąsajas su kitomis programomis, papildomi eismo tvarkaraščių informacijos rinkimo galimybėmis.

Išsivysčiusių ir besivystančių šalių didmiesčiuose ilgesnėms kelionėms parenkamos dvi ar daugiau transporto rūšys. Jei galima rinktis priemiestinius traukinius ar visuomeninį autobusų transportą, priemiesčių gyventojai mieliau ilgesniems atstumams renka traukinius, kad galėtų išvengti spūsčių keliuose, o jeigu jų galutinė kelionės vieta nėra arti geležinkelio stoties, tai likusią kelio dalį važiuoja autobusais. Paprastai priemiestiniai traukiniai turi iš anksto nustatytus

koridorius, o autobusai lanksčiai vyksta į tolimesnes vietas. Taigi privažiuojamųjų kelių maršrutų nuo geležinkelio stočių iki įvairių paskirties vietų projektavimas ir persėdimo iš traukinio į autobusą laikas yra labai svarbus ir gali būti transporto planuotojų valdomas. Atlikta nemažai atskirų autobusų maršrutų tinklų tyrimų nevertinant traukinių paslaugų daromos įtakos (Shrivastava, O'Mahony 2009). Tyrinėtojai keliams ir tvarkaraščiams projektuoti bei sudaryti taikė euristinius metodus, imitavimą, ekspertines sistemas, dirbtinį intelektą ir optimizavimo technologijas. Iki šiol tebuvo ribotos pastangos sumodeliuoti koordinuotus veiksmus. Šiame moksliniame darbe aptariamas naujojo hibridinio algoritmo, kuriame naudojami genetinių algoritmų ir gerai išbandytų euristinių algoritmų privalumai, taikymas moksle. Tiriant privažiuojamųjų kelių maršrutus ir koordinuotus tvarkaraščius pasirinktose geležinkelio stotyse, palyginti su būdais, kuriuos anksčiau autoriai taikė panašioms studijoms, įtikinamesnių rezultatų gaunama naudojantis siūlomu hibridiniu algoritmu.

Kasturia, Verma darbe (2010) pateikiamas daugiataikslės apibendrintomis sąnaudomis (GC) grįstos keleivių informavimo sistemos (PIS) projektavimas įvairiarūšei transporto sistemai, kurioje integruoti geografinės informavimo sistemos (GIS) apdorojimas, tinklo analizė, ryšys su vartotojais ir duomenų bazės valdymas. GC maršrutų planavimo būdas ypač svarbus nagrinėjant indiškąjį scenarijų, kur paprastai skirtingos transporto rūšys nėra darninamos, o persėdimo laikas iš vienos transporto priemonės į kitą yra labai ilgas. Jame taip pat imituojama natūrali visuomeninio transporto vartotojų tendencija skirtingą dėmesį skirti įvairiems kelionės svertams (ėjimas pėsčiomis, laukimas, kelionės laikas, etc.). Planuojant kelionę siūloma PIS duoda atsakymus į tokius vartotojų klausimus, kaip optimalus kelias laiko, sąnaudų, atstumo atžvilgiu ar bendrosios sąnaudos, ir suteikia kitą kelionei planuoti reikalingą informaciją. Ji įdiegta įvairiarūšiam integruotame tranzitiniame tinkle, anksčiau suprojektuotame Indijos miestui Thane.

Reziumuojant keleivių vežimo traukiniais tyrinėjimo aspektus, galima teigti, kad norint padaryti keleivinį geležinkelių transportą efektyvesnį, būtina pagrįstą dėmesį kreipti į veiksnus, pateiktus 1.1 pav.



**1.1 pav.** Priemiestinių keleivių vežimo tinklo plėtros aspektai

**Fig. 1.1.** Suburban passenger transport network development aspects

Apžvelgtos pasaulinės mokslinės tendencijos, ieškant racionalių keleivių vežimo metodų, rodo, kad pagrindinis dėmesys skiriamas dideliems keleivių srautams ir ilgiems atstumams. Tačiau pasauliniu mastu beveik nėra darbų keleivių vežimo organizacinių techninių sprendimų klausimais, kai keleivių srautai ir atstumai nėra dideli (iki 400 km), t. y. atitinkantys Lietuvos sąlygas.

## 1.2. Darbai, susiję su komforto gerinimu

Visos priemonės yra svarbios, tačiau mūsų šalies sąlygomis itin svarbu gerinti riedmenų naudojimą, t. y. kuo racionaliau naudoti jau esamus riedmenis keleiviams vežti, o išsityjant naujus stengtis, kad juose būtų sudarytos kuo palankesnės sąlygos (komfortas) keleiviui. Tam turi būti sumažintos vagonų vibracijos, itin kenkiančios keleivio sveikatai, savijautai, taikomi pažangiausi ergonominiai sprendimai bei priežiūra. Daug tyrimų pasaulyje atlikta ir atliekama parenkant optimalius keleivinių vagonų vežimėlių pakabų parametrus, kurie, didėjant traukinių greičiams, dažniausiai išreiškiami dinaminiais koeficientais. Jie, nepaisant



augančių važiavimo greičių, negali išeiti už leistinų ribų, nustatytų specialiu standartu (Mechaniniai virpesiai ir smūgiai... 2004).

Toliau apžvelgiami pagrindiniai darbai, nuveikti šioje srityje.

Kai kurie tyrinėtojai (Реклейтис, Рейвиндран, Рэгсдел 1986) nagrinėja keletą metodikų, parinkdami tikslo funkciją pakabų parametrams nustatyti. Tai vieno pagrindinio kokybės kriterijaus optimizavimas. Pvz., gali būti optimizuojamas svoris, vagono važiuoklės ilgis, traukos kokybė, kaina ir kt. Kitiems kriterijams naudojami apribojimai. Kitu atveju sudaroma optimali Pareto aibė ir parenkamas tinkamiausias sprendinys. Išvadose teigiama, kad tikslingiausia, optimizuojant važiuoklę, optimizuoti vieną kriterijų (pagrindinį), tai leistų uždavinio sprendimą maksimaliai priartinti prie realių sąlygų. Tokio optimizavimo silpnoji vieta ta, kad keičiantis eksploataavimo sąlygoms (pvz., didėjant traukinių greičiams) kiti kriterijai gali tapti pagrindiniais. Todėl pastaruoju metu daugelis tyrinėtojų renkasi daugiakriterinį optimizavimą.

Disertacijoje (Михайличенко, 1986) vertinami rodikliai, kurie nusako dinamines riedmenų charakteristikas. Juos sąlygiškai galima suskirstyti į tris grupes: rodikliai, veikiantys keleivius ir aptarnaujantį jų personalą; rodikliai, veikiantys važiuoklių elementus; rodikliai, veikiantys bėgių kelią.

Dinaminėms savybėms vertinti dažniausiai naudojami šie kriterijai: vertikalus ir skersiniai kėbulo, vežimėlio rėmo ir ašidėžių pagreičiai; eigos tolygumo koeficientas, vertinantis važiuoklės dinamikos įtaką žmogui; pakabos spyruoklių deformacija ir visų pakabos pakopų dinamika; santykiniai kėbulo ir vežimėlio poslinkiai bei jėgos. Pažymima, kad pagrindinis kriterijus, lemiantis saugų eisimą, yra šoninės jėgos, atsirandančios tarp rato ir bėgio.

Pastaruoju metu vertinant riedmens dinamiką horizontaliojoje plokštumoje, naudojamosi jėgomis, veikiančiomis rėmą. Tačiau šios jėgos iš principo apskaičiuojamos įvertinant išsvertas mases horizontaliojoje plokštumoje, o neišsvertų masių poveikis lieka neįvertintas.

Parametrinė optimizacija, kaip geriausių parametrų reikšmių paieškos procesas, gali būti atliekama skirtingais metodais. Pirmiausia skaičiuojant tikslo funkcijos reikšmes parametrų erdvėje. Optimalaus sprendinio paieška šiuo atveju pasireiškia tuo, kad parenkama tinkamiausia tikslo funkcijos reikšmė (Ковалев 2004).

Kitas metodas grindžiama tuo, kad naudojami skirtingi nelineinio programavimo algoritmai. Tokiems optimizacijos metodams skirti Polak darbai (1974, 1983).

Kompiuterinės realizacijos techninių sistemų optimizavimo metodai, tarp jų ir geležinkelio važiuoklių, nagrinėjami kai kuriuose darbuose (Ковалев 2004; Реклейтис, Рейвиндран, Рэгсдел 1986; Bestle, Eberhard 1992, 1994, 1996; Schiehlen 1997).

Atlikta šių algoritmų analizė tarp nulinės eilės metodų leidžia išskirti Hu-ko–Dživso, Nelderio–Mido ir gretutinių krypčių Pauelo metodą, o tarp pirmos eilės metodų – Devidono, Fletčerio, Pauelo metodą kaip patikimą bei tikslų. Šis metodas pastaruoju metu taikomas dažniausiai.

Be skenavimo metodo, sprendžiant globalius optimizacijos uždavinius taikomi ir kiti metodai. Juos galima suskirstyti į tokias grupes:

1. Metodai, kurių pagrindą sudaro lokalinės paieškos metodai.
2. Tiesioginiai globalinės paieškos metodai: genetiniai algoritmai, imitacijos metodas, DIRECT metodas.
3. Metodai, naudojantys paviršiaus atspindžio aproksimaciją ir (arba) skaičiavimo schemas.

Dalis pirmos grupės darbų apžvelgta (Erikson, Arora 2002).

Metodų esmė ta, kad nuosekliai taikomi lokalinės paieškos metodai iš skirtingų, atsitiktiniu būdu nustatomų pradinių taškų. Metodai negarantuoja, kad nustatytas globalus optimumas ir yra tikimybinio pobūdžio. Darbe (Реклейтис, Рейвиндран, Рэгсел 1986) pateiktas vadinamasis kompleksų metodas, kurio esmė ta, kad atsitiktiniu būdu „išmėtoma“ daug taškų erdvėje parametru, kurie sugrupuojami į tam tikrą optimumo zoną. Kuo daugiau pradinių taškų, tuo didesnė tikimybė, kad nustatytas optimumas yra globalus.

Pažymėtinas Šnymano metodas (Snyman 1983), kuris modeliuoja sunkaus taško nuleidimą nuo „kalvelės“. Laikoma, kad taškas pereina lokaliuosius minimumus iš inercijos ir sustoja globaliame minimume.

1993 m. Jones D. R. su bendraautorais (Jones, Perttunen, Stuckman 1993) pasiūlė DIRECT metodą. Pagal šį metodą erdvė suskirstoma į stačiakampes sritis ir apskaičiuoja tikslo funkcijos reikšmę kiekvieno stačiakampio centre. Pagal tikslo funkcijos reikšmę ir stačiakampio matmenis, šiuo metodu surandamos globalaus optimumo sritys su didžiausia tikimybe. Toliau išskirtos sritys skaidomos į smulkesnes ir taip elgiamasi iki tol, kol srities matmuo pasiekia tam tikrą iš anksto nustatytą dydį.

Jefimovos darbe (Ефимова 2009) analizuojama keleivinių vagonų kūrimo istorija Rusijoje nuo 1846 m. iki 2006 m., atkreipiant pagrindinį dėmesį į technines vagonų ir jų dalių charakteristikas bei jų kitimą laikui bėgant. Autorė pateikia keleivinių vagonų vežimėlių konstrukcijų charakteristikų kitimo raidą, tenkinant augančius traukinių greičius ir keleivių komfortą akcentuodama belopšius vežimėlius, kurie geriausiai apsaugo keleivius nuo tokių neigiamų veiksnių, kaip pagreičiai, vibracijos, triukšmas, taip pat garantuoja tolygią eigą. Taigi viena iš pagrindinių krypčių neigatyviems požymiams keleiviniuose traukiniuose šalinti – tobulinti vežimėlių (jų pakabų) konstrukcijas.

Keršys, Bazaras (2001) nagrinėja kelio nelygumus bei greičio įtaką vagonų mazgų ir viso kėbulo virpesiams, o tai mažina keleivių komfortą. Pateikiami galimi traukinių greičiai priklausomai nuo kelio parametru, t. y. vyraujančių

nelygumų pobūdžio. Norint sumažinti virpesius vagone, būtina tobulinti vežimėlių pakabas ir mažinti kelio sužadinimo jėgas.

Pagal pateiktas optimizavimo metodikas yra sukurta daugelis kompiuterinių programų, tokių kaip Mathcad, 3DSmax, Simulink, MEDYNA, ADAMS/CAR, ADAMS/RAIL, DYNRAIL, tarp jų ir geležinkelio pakaboms skaičiuoti.

Apklauskos rezultatai (Viešojo transporto efektyvaus panaudojimo... 2010) parodė, kad, keleivių nuomone, keliavimo traukiniais patrauklumas mažėja dėl įvairių priežasčių, tačiau pagrindinės iš jų yra ilgas kelionės laikas ir komforto trūkumas. Todėl šiame darbe pagrindinis dėmesys bus kreipiamas ne tik į geresnį keleivinių traukinių darbo organizavimą, bet ir priemones, gerinančias keliautojų komfortą, mažinančias vibracijas keleiviniuose vagonuose.

### **1.3. Pirmojo skyriaus išvados ir disertacijos uždavinių formulavimas**

Apžvelgus keleivių vežimo traukiniais tyrinėjimo aspektus, galima teigti, kad norint padaryti keleivinį geležinkelio transportą efektyvų, visų pirma būtina kreipti dėmesį į šiuos veiksnius: riedmenų naudojimo efektyvumo didinimą, naujų riedmenų išsigijimą, vežimų patrauklumo didinimą, rinkos kainų taikymą vežimui, informacinių technologijų taikymą. Mokslinių darbų, susijusių su keleivių vežimo metodais, analizė rodo, kad pagrindinis dėmesys skiriamas dideliems keleivių srautams ir ilgiems atstumams. Tačiau beveik nėra darbų, kuriuose pasauliniu mastu nagrinėjami keleivių vežimo geležinkeliais klausimai, kai keleivių srautai ir atstumai nėra dideli, t. y. atitinkantys Lietuvos sąlygas.

Literatūros analizė parodė, kad keliavimo traukiniais patrauklumas (mūsų sąlygomis) mažėja dėl įvairių priežasčių, tačiau pagrindinės iš jų yra komforto trūkumas ir nepakankamas traukinių kursavimo dažnis. Svarbiausias veiksnys, darantis neigiamą poveikį keleiviams, yra vagonų vibracija. Jai sumažinti vagonų konstrukcijose skirta vežimėlių pakaba. Todėl jos elementų parinkimo optimizavimas yra būtina sąlyga komforto sąlygoms gerinti. Tai privalu įvertinti įsigyjant naujus riedmenis. Tam tikslui numatoma:

1. Ištirti esamą padėtį keleivių vežimo geležinkeliais sektoriuje, nustatyti jo reikšmę šalies ūkiui.
2. Nustatyti keleivių vežimo geležinkeliais pajamų ir išlaidų komponentes bei identifikuoti jų priklausomybę nuo techninių riedmenų parametrų.
3. Sudaryti keleivių vežimo geležinkeliais racionalių priemonių parinkimo modelį.

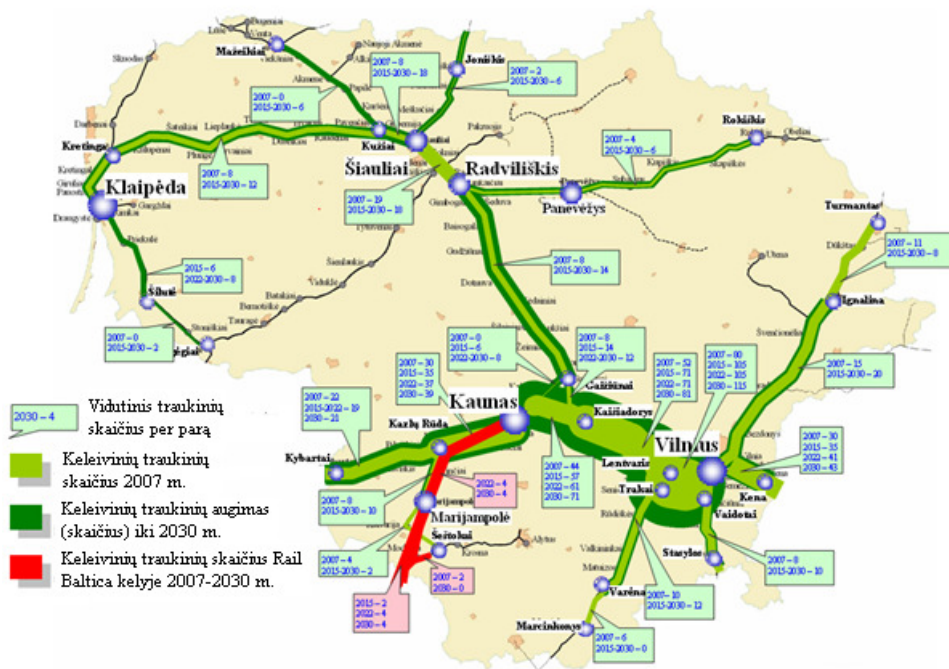
4. Modeliui taikant netiesinių lygčių su daugeliu kintamųjų ir apribojimais ekstremumo paieškos metodą, parinkti riedmenis konkretiems maršrutams keleivių vežimo Lietuvos geležinkeliais pavyzdžiu.
5. Mažinti vibracijas vagonuose parenkant racionalius parametrus vežimėlių pakaboms, esant įvairiems greičiams, siekiant sudaryti patrauklias kelionės sąlygas.

---

## **Keleivių vežimo geležinkeliais esamos padėties ir perspektyvų tyrimas**

Bendras Lietuvos geležinkelių tinklas nėra didelis, jis sudaro apie 2000 km vienkelių ir dvikelių. Pastaruoju metu didžiausieji greičiai atskiruose ruožuose siekia iki 120 km/h. AB „Lietuvos geležinkeliai“ 2007–2030 metų strategijoje numatomas keleivinių traukinių paros intensyvumas pavaizduotas 2.1 pav.

Keleivinių traukinių eismo intensyvumas, ypač Lietuvos sąlygomis, lemia pritraukiamų keleivių į geležinkelių transportą srautą ir kartu už parduotus bilietus gautas pajamas. Antra vertus, būtina apskaičiuoti, ar didinant reisų skaičių atsipirks patiriamos išlaidos. Šiam uždaviniui spręsti galėtų padėti konkrečių maršrutų geležinkelio transporto priemonių parinkimas. Reikia detalios padėties analizės, kad galima būtų priimti sprendimus tobulinti keleivių vežimo technologiją. Šiame skyriuje analizuojama esama Lietuvos geležinkelių sistemos padėtis pagal atskirus maršrutus, identifikuojamos keleivių vežimo sektoriaus problemos bei perspektyviniai uždaviniai, keleivinio parko būklė, investicijų poreikis.



2.1 pav. Keleivinių traukinių skaičius 2007–2030 m.

AB „Lietuvos geležinkeliai“ linijose

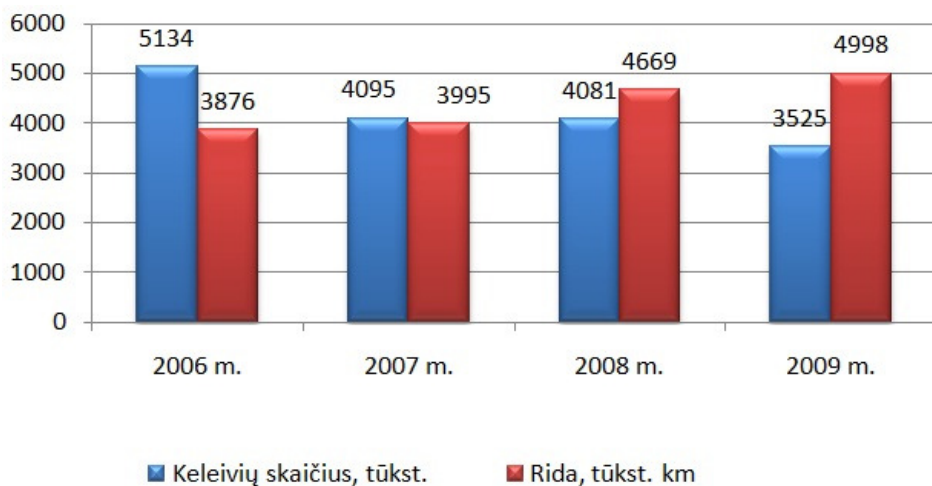
Fig. 2.1. Number of passenger trains in the JSC “Lithuanian Railways” lines in 2007–2030

Didžiausi keleivių srautai yra maršrutuose Vilnius–Kaunas, Kaunas–Klaipėda, Vilnius–Turmantas.

Skyriaus tematika paskelbtas disertacijos autoriaus straipsnis (Dailėda, Lingaitis 2009).

## 2.1. Keleivių vežimo vietiniais maršrutais analizė

2006–2009 m. vietinio susisiekimo geležinkelių maršrutais Lietuvoje keleivių vežta vidutiniškai po 4,2 mln. kasmet. Vidutinė traukinių rida vietinio susisiekimo maršrutais buvo 4,4 mln. km kasmet. Kaip kito vežtų keleivių skaičius ir transporto priemonių nuvažiuota rida per pastaruosius ketverius metus, pateikta 2.2 pav. Rida 2006–2009 m. padidėjo 23 proc., keleivių skaičius per šį laikotarpį sumažėjo 32 proc. Tai rodo, kad esamos transporto priemonės naudojamos neracionaliai, traukiniai važinėja nepilni.



2.2 pav. Keleivių skaičiaus ir ridos kaita 2006–2009 m.

Fig. 2.2. Passenger number and mileage change during the year 2006–2009

2.1 lentelėje pateikti duomenys, kiek procentų pajamų, gautų už parduotus bilietus, trūksta, kad būtų padengtos sąnaudos. Pajamos, gautos už bilietus, vidutiniškai padengia tik 14 proc. vežėjų patirtų išlaidų. Pajamos už bilietus šiuo laikotarpiu kito nedaug, tačiau sąnaudos kasmet augo ir nuo 2006 m. padidėjo 30 proc. Trūkumas sąnaudoms padengti taip pat augo.

**2.1 lentelė.** Vietinio keleivinio geležinkelių transporto pajamų už bilietus ir išlaidų santykis 2006–2009 m.

**Table 2.1.** Income for the tickets and expenses ratio at the local rail passenger transport in 2006–2009

Metai	Pajamos už bilietus, tūkst. Lt	Sąnaudos, tūkst. Lt	Pajamų dalis, dengianti sąnaudas, %	Trūkumas sąnaudoms padengti, tūkst. Lt	Trūkumas, %
2006	18 054,6	121 053,9	14,9	102 999,3	85,1
2007	20 597,5	136 955,1	15,0	116 357,6	85,0
2008	22 501,1	176 093,4	12,8	153 592,3	87,2
2009	21 548,9	177 094,9	12,2	155 546,0	87,8

Didžiausias trūkumas pastebimas 2009 m., kai padidėjo iki 155 mln. Lt, arba 87,8 proc.

Trūkstamos sąnaudos padengiamos dviem pajamų tipais. Pirmasis – tai kompensacijos už teisę į lengvatas turinčių keleivių vežimą, kai vežėjams kompensuojama pati lengvata. Antrasis, kai dotacijos kaip pajamos su kompensacijomis nepadengia vežėjų išlaidų, nes net ir visa nustatyta vežimų kaina nepadengia išlaidų. Dotacijų poreikiui nustatyti svarbu palyginti pajamas su priskaičiuotomis kompensacijomis ir sąnaudas (2.2 lentelėje).

**2.2 lentelė.** Pajamų už bilietus su priskaičiuotomis kompensacijomis ir išlaidų santykis 2006–2009 metais (be PVM)

**Table 2.2.** Income for the tickets with accrued compensation and expenses ratio for 2006–2009 (excluding VAT)

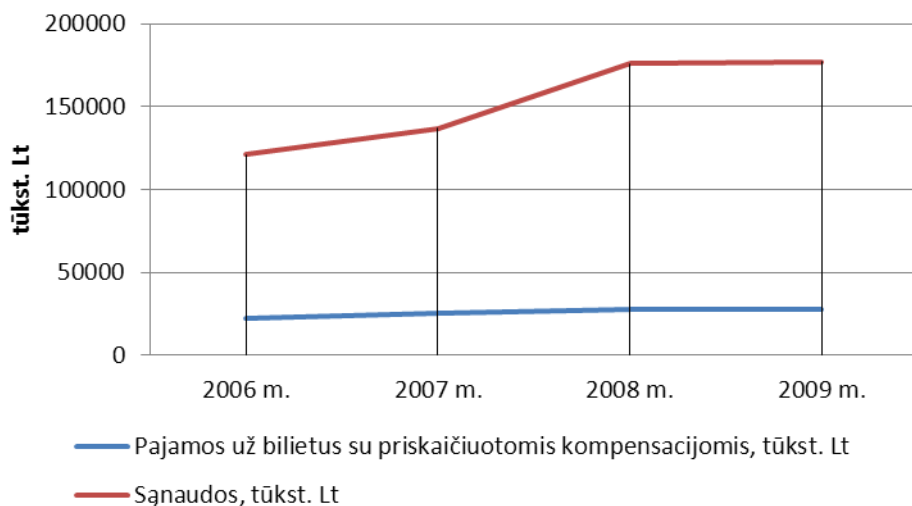
Metai	Pajamos už bilietus su priskaičiuotomis kompensacijomis, tūkst. Lt	Sąnaudos, tūkst. Lt	Pajamų dalis, dengianti sąnaudas, %	Trūkumas sąnaudoms padengti	Trūkumas, %
2006	22 054,6	121 053,9	18,2	98 999,3	81,8
2007	25 097,5	136 955,1	18,3	111 857,6	81,7
2008	27 701,1	176 093,4	15,7	148 392,3	84,3
2009	27 648,9	177 094,9	15,6	149 446	84,4

Iš vietinio susisiekimo geležinkeliais maršrutų AB „Lietuvos geležinkeliai“ vidutiniškai kasmet gauna 25,6 mln. Lt sąlyginių pajamų, kurias sudaro pajamos už parduotus bilietus ir priskaičiuotos kompensacijos už lengvatinius bilietus.

Vietinio susisiekimo maršrutuose įmonė vidutiniškai patiria 152,8 mln. Lt išlaidų. Ypač išlaidos didėjo buvo 2007–2008 m. Daugiausia tai lėmė degalų kainos ir darbo užmokestis, kai augo šalies ekonomika. Išlaidų didėjimą taip pat paveikė investicijos į infrastruktūrą ir didėjantys amortizaciniai atskaitymai, taip pat vidinės apskaitos pokyčiai, kai imtas skaičiuoti keleivių vežimo infrastruktūros mokestis. Ridai padidėjus 23 proc., sąnaudos išaugo 30 proc. Vertinant ketverius metus, vidutiniškai kasmet trūksta net 127 mln. Lt (arba 83,2 proc.) vežėjų sąnaudoms padengti (2.3 pav.).

Negautos pajamos iš keleivių dėl lengvatų maršrutuose yra kompensuojamos. Priskaičiuotos kompensacijos 2006 ir 2008 m. buvo visiškai apmokėtos (2.3 lentelė).





**2.3 pav.** Vietinio susisiekimo maršrutų geležinkeliais pajamos už bilietus su priskaičiuotomis kompensacijomis ir sąnaudos, tūkst. Lt

**Fig. 2.3.** Income for the tickets with accrued compensation and expenses at the local rail passenger transport

**2.3 lentelė.** Priskaičiuotos ir gautos kompensacijos 2006–2009 m. (be PVM)

**Table 2.3.** Accrued and received compensation for the period 2006–2009 (excluding VAT)

Metai	Kompensacijų poreikis, tūkst. Lt	Gautos kompensacijos, tūkst. Lt	Kompensacijų trūkumas, tūkst. Lt	Trūkumas, %
2006	4250,0	4250,0	0,0	0,0
2007	4500,0	4300,0	200,0	4,4
2008	5200,0	5200,0	0,0	0,0
2009	6100,0	3900,0	2200,0	36,1

Nuo 2006 m. kompensacijų poreikis kasmet didėjo 10–12 proc. Kritiniai metai buvo 2009-ieji, kai kompensacijų trūkumas pasiekė 36,1 proc., nes nebuvo apmokėta apie 2,2 mln. Lt.

Priskaičiuotos ir gautos dotacijos 2006–2009 m. pateiktos 2.4 lentelėje.

**2.4 lentelė.** Priskaičiuotos ir gautos dotacijos 2006–2009 m. (be PVM)

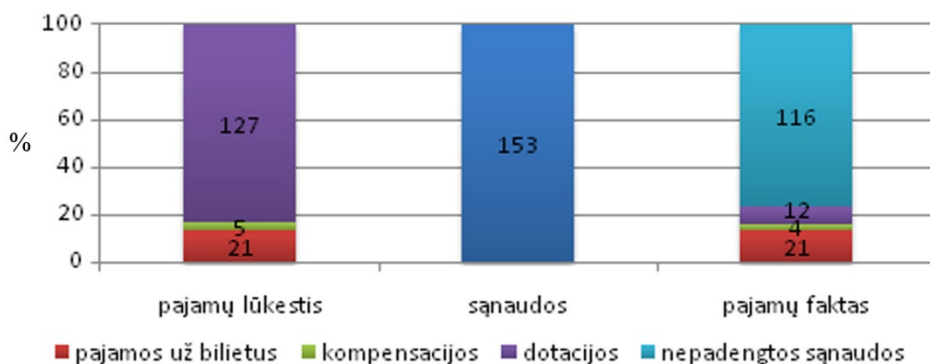
**Table 2.4.** Accrued and received a grant in the period 2006–2009 (excluding VAT)

Metai	Dotacijų poreikis, tūkst. Lt	Gautos dotacijos, tūkst. Lt	Dotacijų trūkumas, tūkst. Lt
2006	98 999,3	4930,0	94 069,3
2007	111 857,6	14 930,0	96 927,6
2008	148 392,3	25 930,0	122 462,3
2009	149 446,0	437,9	149 008,1

Dotacijų poreikis 2006–2009 m. nuolat didėjo ir 2008–2009 m. buvo didžiausias, kai siekė atitinkamai 148,4 mln. Lt ir 150 mln. Lt.

Vidutiniškai kiekvienais metais dotacijų trūkumas siekė 104,7 mln. Lt. Didžiausias trūkumas buvo 2009 m., kai skirtumas tarp priskaičiuotų ir gautų dotacijų buvo net 99,7 proc., vadinasi, nebuvo apmokėta net 150,8 mln. Lt priskaičiuotų dotacijų.

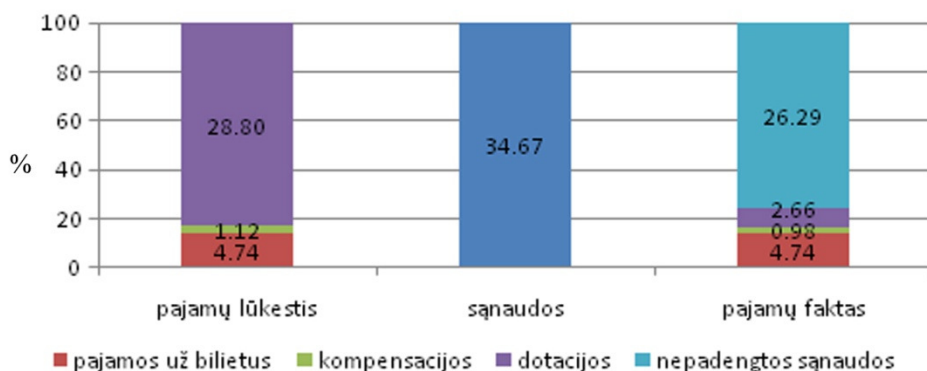
Vidutiniai metiniai pajamų lūkesčiai sąnaudoms padengti ir faktinės pajamos pateiktos 2.4 pav.



**2.4 pav.** Vidutiniai metiniai pajamų lūkesčiai sąnaudoms padengti ir faktinės pajamos, mln. Lt

**Fig. 2.4.** The average annual income expectations and the actual costs, mill. LTL

Skaiciuojant vienam traukinio kilometrui, vidutinės sąnaudos 2006–2009 m. siekia 34,67 Lt, pajamos padengia 4,74 Lt, kompensacijos – 0,99 Lt, dotacijos – 2,66 Lt. Net 26,29 Lt kilometro išlaidų lieka nepadengtos (2.5 pav.).



**2.5 pav.** Vidutiniai metiniai pajamų lūkesčiai sąnaudoms padengti ir faktinės pajamos, Lt/trauk. km

**Fig. 2.5.** The average annual income expectations and the actual costs, LTL/train km

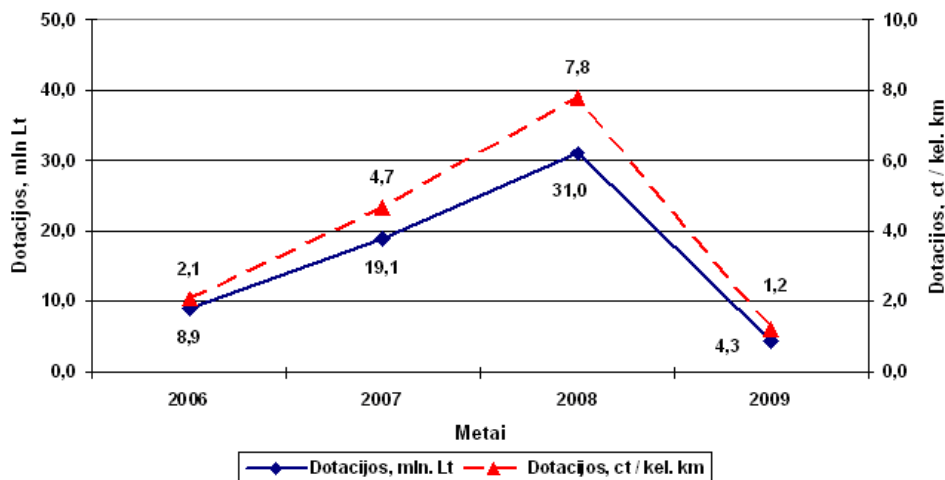
Lyginant su kitomis pasaulio šalimis, matyti (1.1 lentelė), kad Vakarų valstybės suteikia nemažų kompensacijų keleivių vežimui geležinkeliais. 2001–2002 m. duomenimis, daugiausia kompensuota Kanados valstybinei įmonei „VIARAK“ – 13,8 euro cento 1 keleivio kilometrui, toliau eina JAV, Vokietija, Prancūzija, o privačios Didžiosios Britanijos įmonėms kompensuota 4,5 euro cento 1 keleivio kilometrui.

Toliau sprendžiant keleivių vežimo nuostolių mažinimo klausimus, įdomu palyginti anksčiau minėtų šalių kompensacijas 1 keleivio km su valstybinėmis kompensacijomis Lietuvoje. Per paskutinius ketverius metus, t. y. 2006–2009 m., Lietuvos geležinkeliai už keleivių vežimą gavo dotacijų atitinkamai 8922,0 tūkst. Lt, 19052,2 tūkst. Lt, 30977,6 tūkst. Lt ir 4290,9 tūkst. Lt.

Nuvažiauta keleivių km per šiuos metus atitinkamai 430,5 mln. kel. km, 408,7 mln. kel. km, 397,5 mln. kel. km ir 356,9 mln. kel. km.

Grafiškai valstybės dotacijų (su kompensacijomis už negautas pajamas) rodikliai pavaizduoti 2.6 pav.

Pažymėtina, kad iki 2008 m. šie rodikliai šiek tiek augo, tačiau 2009 m. dėl ekonomikos nuosmukio smarkiai sumažėjo. Palyginus su kitų Vakarų šalių teikiamomis kompensacijomis keleiviams vežti, matyti, kad JAV jos vidutiniškai didesnės apie 10 kartų, Kanadoje – apie 12, Vokietijoje – apie 5, Didžiojoje Britanijoje – apie 4 ir Prancūzijoje – daugiau kaip 2 kartus.



2.6 pav. Valstybės dotacijų (su kompensacijomis) rodikliai  
 Fig. 2.6. Government grants (with compensation) rates

Suprantama, tiesiogiai lyginti Lietuvoje gaunamas dotacijas su kitomis valstybėmis nėra korektiška, nes skiriasi tinklo struktūra, priemonės, kuriomis vežami keleiviai, be to, jų valdymas nėra identiškas (valstybinės ir privačios), keleivių aptarnavimas ir kiti veiksniai, lemiantys sistemų neadekvatumą. Tačiau aiškiai matyti ir tai, kad iki šiol paprastas negreitaeigis keleivinis geležinkelio transportas be dotacijų niekur neišsilaiko. Taigi būtina ieškoti vidinių rezervų organizacinių ir techninių priemonių keleivių vežimo geležinkeliais nuostoliams mažinti. Šis darbas ir skiriamas minėtiems tikslams pasiekti, t. y. racionaliems sąstatams parinkti ir keleivių komfortui gerinti.

## 2.2. Pagrindinės problemos keleivių vežimo sektoriuje

Veiksniai, sukeliantys tam tikrą problemų vežant keleivius Lietuvos geležinkeliais, yra šie:

- tolesnė Lietuvos visuomenės automobilizacija. Augant šalies gyventojų pragyvenimo lygiui, nuolat didėja gyventojų dalis, galinti įsigyti nuosavą automobilį. Iki 2009 m. kasmet privačių automobilių Lietuvoje daugėjo 5 proc. ir daugiau. Kiekvienas, turintis nuosavą automobilį, daugiau linkęs naudotis šia transporto priemone, o ne visuomeniniu transportu;

- šiuolaikiškų keleivinių riedmenų trūkumas. Nuo 1990 iki 2008 m. dėl lėšų trūkumo AB „Lietuvos geležinkeliai“ keleivinių riedmenų parko atnaujinimas buvo nepakankamas. Eksploatacijai tinkamų keleivinių riedmenų trūkumas, dažni eksploatuojamų riedmenų gedimai, brangi jų eksploatacija – viena iš priežasčių, dėl ko buvo gerokai sumažintas maršrutų/reisų skaičius;
- keleivinių traukinių eismo ribojimai dėl darbų, vykdomų įgyvendinant reikšmingus viešosios geležinkelių infrastruktūros modernizavimo projektus. Todėl vykdant rekonstrukciją, būtina kartu su kelio darbais organizuoti traukinių eismą taip, kad būtų užtikrintas prekių bei keleivinių (bent jau svarbiausių) traukinių praleidimas;
- prasta geležinkelių infrastruktūra, jungianti Lietuvos geležinkelių tinklą su Lenkijos geležinkelių tinklu. Iki „Rail Baltica“ nutiesimo AB „Lietuvos geležinkeliai“ planuoja atnaujinti keleivių vežimą Lenkijos kryptimi, naudodama modernią ir patikimą vėžės keitimo įrangą. Šis projektas strigo dėl įvairių priežasčių.

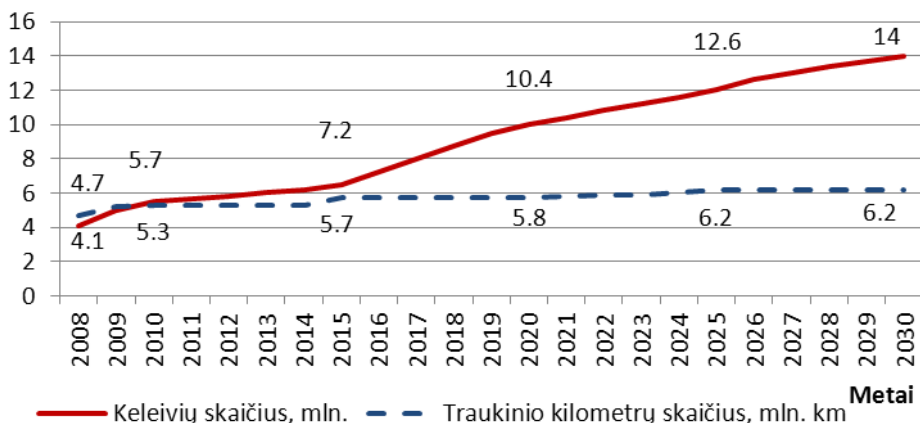
Veiksniai, lemiantys keleivių, važiuojančių geležinkeliais, tam tikrą didėjimą:

- didėjančios grūstys automobilių keliuose, avaringumas. Didėjant eismo intensyvumui automobilių keliuose, traukinys suteiks galimybę išvengti grūsčių ir vėlavimų bei avarių rizikos keleiviui. Reali automobilių grūsčių problema artimiausioje perspektyvoje (per 3–5 metus) tikėtina prieigose prie didžiausių Lietuvos miestų (visų pirma Vilniaus ir Kauno);
- pasaulinis degalų ir kitų energinių išteklių kainų augimas, akcizų didinimas. Degalų kaina – svarbiausias veiksnys, lemiantis keliones autotransporto priemonėmis. Perspektyvoje plėtojant Lietuvos geležinkeliuose kontaktinį elektros tinklą traukinių pranašumas prieš autotransportą Lietuvoje didės;
- valstybinis reguliavimas ar jo pokyčiai, palankūs keleivių vežimo geležinkeliais veikai plėtoti.

## 2.3. Keleivių vežimo perspektyvos

Prognozuojama, kad iki 2015 m. (2.7 pav.) keleivių daugės daugiausia dėl naujų reisų įsteigimo (atnaujinimo) ir tankinimo.

Keleivinių riedmenų parko atnaujinimas ir geležinkelių infrastruktūros modernizavimas – ilgalaikiai procesai, todėl staigūs pokyčiai gerinant keleivių vežimo kokybę (didinant greitį, kelionės komfortą) negalimi.



**2.7 pav.** AB „Lietuvos geležinkeliai“ vietinio susisiekimo keliais vežamų keleivių skaičius 2008–2030 m.

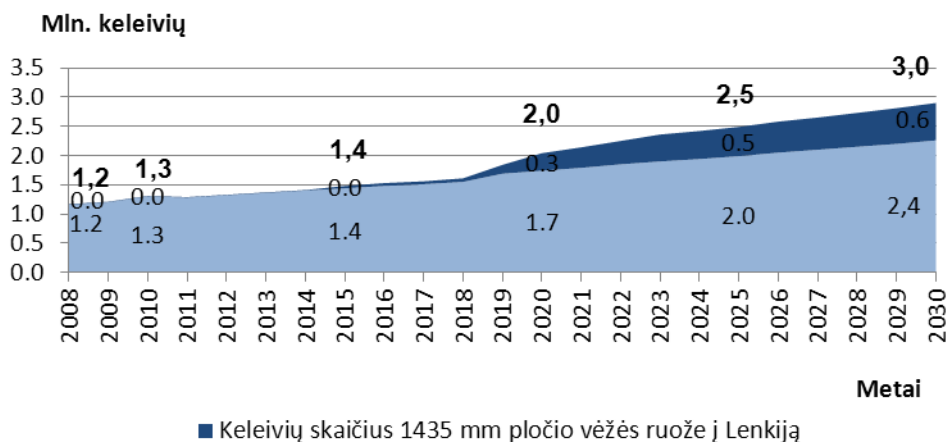
**Fig. 2.7.** Number of passengers at the JSC “Lithuanian Railways” local rail passenger transport 2008–2030

Žymus keleivių, vykstančių vietiniais geležinkelio maršrutais, skaičiaus padidėjimas AB „Lietuvos geležinkeliai“ strategijoje numatomas po 2015 metų. Tai lems: atnaujintas keleivinių riedmenų parkas; atskirų ruožų elektrifikavimas, įdiegta moderni bilietų rezervavimo ir pardavimo sistema; padidėjusios grūstys automobilių keliuose; išaugusi degalų kaina; valstybės transporto politika, skatinanti keliones traukiniu; geležinkelio ruožų Vilnius–Kaunas (vėliau Kaišiadorys–Šiauliai, Šiauliai–Klaipėda) modernizavimas, kurių įgyvendinus bus didinamas keleivinių traukinių leistinas greitis šiuose maršrutuose (iki 160 km/h) bei visų ruožų elektrifikavimas.

Siekiant gerinti tarptautinio susisiekimo sąlygas, numatoma plėtoti keleivių vežimą AB „Lietuvos geležinkeliai“ formavimo tarptautiniais traukiniais: rytų kryptimi ir šiaurės–pietų kryptimi.

AB „Lietuvos geležinkeliai“ formavimo tarptautiniai traukiniai dėl rinkos specifikos (t. y. palyginti mažų keleivių vežimo įkainių ir mažų vežimo apimčių) yra nuostolingi (2008–2009 m. nuostolis viršijo 30 mln. Lt) ir nėra galimybių investicijomis ar kitomis priemonėmis užtikrinti šios veiklos nenuostolingumą (bent jau artimu laikotarpiu). Šiai veiklai vykdyti ir plėtoti būtinos valstybės dotacijos.

Tarptautiniais maršrutais prognozuojama keleivių vežimo apimčių dinamika pateikta 2.8 pav. Tikimasi, kad tarptautiniais maršrutais vykstančių keleivių skaičius padidės nuo 1,0 mln. keleivių (2008 m.) iki 3 mln. keleivių (2030 m.).



**2.8 pav.** AB „Lietuvos geležinkeliai“ tarptautiniais maršrutais vežamų keleivių skaičius 2008–2030 m.

**Fig. 2.8.** Number of passengers at the JSC “Lithuanian Railways” international rail passenger transport 2008–2030

Reikšmingo keleivių apimčių augimo tikimasi nutiesus „Rail Baltica“ europinę vėžę iki Kauno keleivių stoties (nuo 2018 m.), kai bus pagerintos keleivių vežimo I koridoriaus sąlygos.

## 2.4. Pagrindiniai uždaviniai, keliami keleivių vežimo sektoriui

Pirmiausia būtina atlikti šiuos darbus:

1. Užtikrinti pajėgumus, reikalingus keleivių vežimo veiklai plėtoti: pakankamą geležinkelių infrastruktūros pralaidumą ir pakankamą keleivinių riedmenų parką.
2. Užtikrinti paslaugų kokybės atitiktį klientų poreikiams, padidinti paslaugų prieinamumą. Keleivių vežimo veiklos orientacija į kliento poreikius – vienintelis būdas padidinti geležinkelių vežėjo patrauklumą ir pritraukti klientus. Orientuojantis į klientų poreikius, bus plėtojamos paslaugos turistiniams maršrutams.
3. Padidinti veiklos efektyvumą (minimizuoti veiklos sąnaudas). Keleivių vežimo veiklos nuostolio sumažinimas – būtina sąlyga šios veiklos tęstinumui bendrovėje.

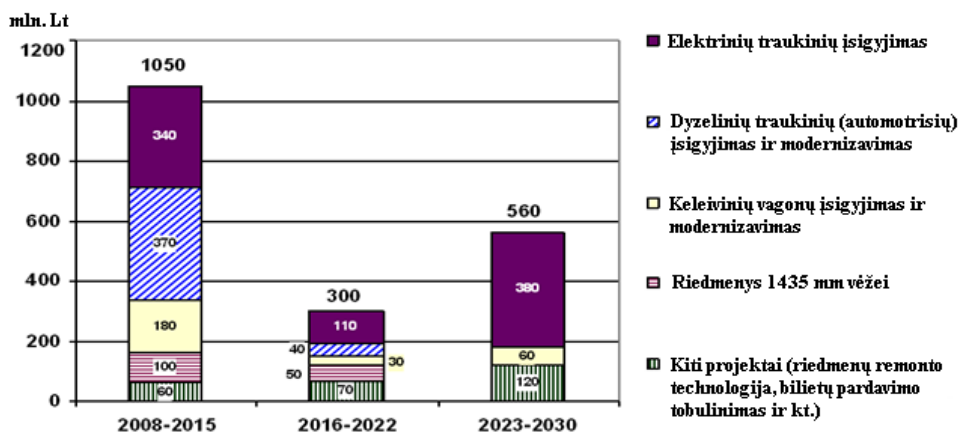
Pagrindinės keleivių vežimo ūkio modernizavimo ir plėtros kryptys: elektrinių traukinių parko atnaujinimas; dyzelinių traukinių parko atnaujinimas; keleivinių vagonų parko atnaujinimas; keleivinių lokomotyvų parko atnaujinimas; keleivinių riedmenų įsigijimas maršrutams Lenkijos („Rail Baltica“) kryptimi.

2010–2020 m. numatoma atnaujinti visą bendrovės keleivinių vagonų parką, nusidėvėjusius vagonus pakeičiant naujais ar modernizuotais.

Optimizavus keleivinių vagonų naudojimą, keleivinių vagonų poreikis sumažės.

## 2.5. Investicijų poreikis

AB „Lietuvos geležinkeliai“ investicijų poreikis (Dailydka, Lingaitis 2009) keleivių vežimo veiklai plėtoti parodytas 2.9 pav.



2.9 pav. Preliminarus AB „Lietuvos geležinkeliai“ investicijų poreikis keleiviniam transportui 2008–2030 m.

Fig. 2.9. Preliminary JSC „Lithuanian Railways” investment demand for passenger transport in 2008–2030

Pagal lėšų poreikio investicijoms pasiskirstymą pagal metus didžiausias lėšų poreikis bus 2008–2015 m. Šiuo laikotarpiu nusidėvės didžioji dalis AB „Lietuvos geležinkeliai“ keleivinių riedmenų (elektrinių, dyzelinių traukinių, keleivinių vagonų bei keleivinių šilumvežių, eksploatuotų iki 2007 m.), kurie bus keičiami naujais ar modernizuotais.

Planuojama, kad naudojant investicijas, rinkodarą, optimalų transporto priemonių pirkimą, gerą aptarnavimą, kelionės geležinkeliu komforto bei kito-



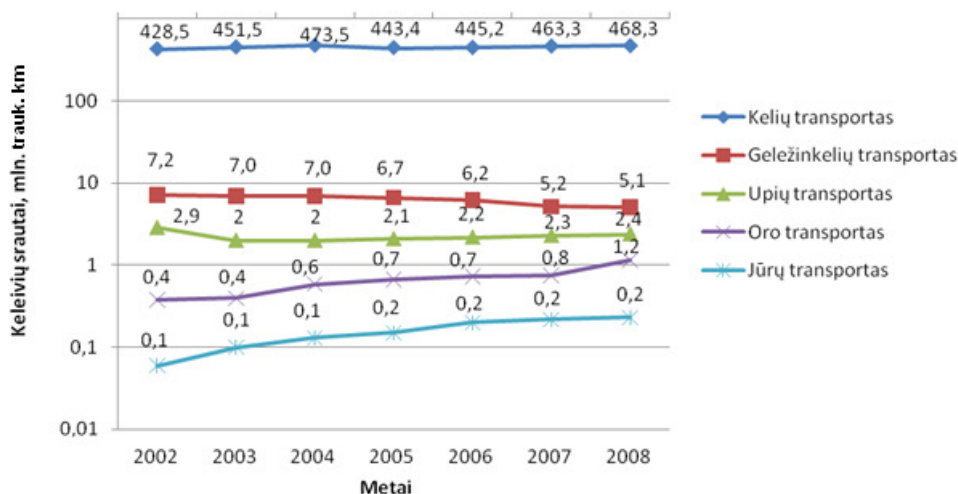
mis veiklos optimizavimo priemonėmis padidinus keleivių skaičių, šios veiklos nuostolingumas ilgalaikėje perspektyvoje bus sumažintas.

Preliminariais skaičiavimais po keleivių vežimo veiklos plėtros ir atnaujinimo nuostoliai gali būti sumažinti 2–3 kartus (nuo 150 mln. Lt iki 50–70 mln. Lt), taip pat sumažės valstybės finansavimo poreikis.

## 2.6. Keleivių vežimas Lietuvoje pagal atskiras transporto rūšis

Pastaruoju metu keleiviams vežti visame pasaulyje naudojamos šios pagrindinės transporto rūšys: automobilių, geležinkelių, vandens ir oro. Gana dažnai naudojamas mišrusis transportas, kai derinamos kelios transporto rūšys. Pavyzdžiui, oro ir automobilių, geležinkelių ir vandens (jūrų) ir panašiai, t. y. atskiros transporto rūšys sujungiamos į vieną transporto sistemą.

Keleivių srautų kitimas Lietuvoje per paskutinius metus pagal įvairias transporto rūšis pateiktas 2.10 pav.



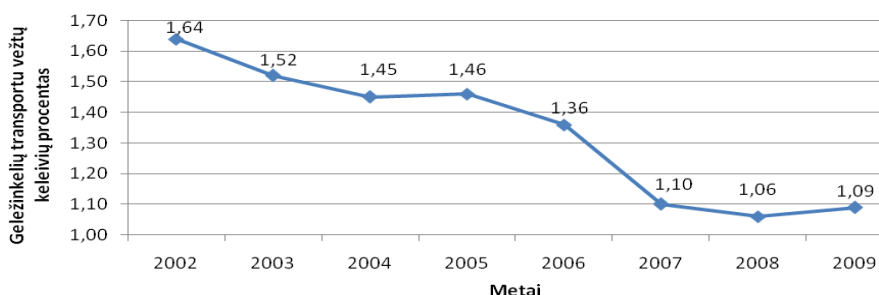
2.10 pav. Keleivių srautų kitimas pagal įvairias transporto rūšis  
Fig. 2.10. Passenger flow change in different modes

Paveiksle aiškiai matyti, kad daugiausia keleivių Lietuvoje vežama keliu transportu. Transporto srautai Lietuvos magistraliniais keliais ir miestų gatvėmis nuolat didėja, grūstys miestuose tampa viena iš eismo saugumo grėsmių. 2008–2009 m. statistiniai duomenys (eismo įvykiuose žuvusiųjų skaičius, tenkantis

1 mln. gyventojų) rodo, kad Lietuva tarp ES šalių yra šeštoje vietoje nuo galo pagal avaringumą ir žuvusiųjų keliuose skaičių. Kai kuriuose keliuose eismo intensyvumas yra daugiau kaip 30 000 automobilių per parą. Padidėjo eismo greitis, automobilių ašių apkrovos. Atsirado rimtų problemų dėl transporto grūsčių, kurias sukėlė asmeninių automobilių pagausėjimas ir padidėjusios vežimų apimtys. Kiekvienais metais Lietuvoje registruojama apie 6000 eismo įvykių, kuriuose žūva ar sužalojami žmonės. Dar daugiau eismo įvykių, kai apgadina mos kelių transporto priemonės, transporto infrastruktūros objektai, padaroma žalos aplinkai.

Saugaus eismo padėtis Lietuvoje sudėtinga, nors pastaruoju metu gerėja. 2009 m. Lietuvoje įvyko 3827 eismo įvykiai, kuriuose žuvo 370, buvo sužeista 4459 žmonės. Svarbiausios priežastys – eismo dalyvių neatsakingumas, neefek tyvi eismo dalyvių kontrolė keliuose, blogas eismo ir avarinių situacijų valdy mas, informacijos keliautojui trūkumas, kuri lemia bendros kelių transporto in formacinės infrastruktūros nebuvimas. Netiesioginiai ekonominiai nuostoliai dėl eismo įvykių šalies ūkiui kasmet sudaro apie 1,9 mlrd. Lt (Transporto ir kelių tyrimo instituto duomenys), t. y. apie 3 % BVP (kitose Europos valstybėse šie nuostoliai sudaro apie 1–2 % BVP). Siekiant gerinti eismo saugumą Lietuvoje, nebepakanka taikyti tradicines priemones – gerinti kelio dangos kokybę, įrengti skirtingų lygių sankryžas ar pan., nes šių priemonių veiksmingumas yra per ma žas. Tačiau reikia pažymėti aiškų geležinkelių transporto pranašumą prieš au tomobilių transportą, nes dėl geležinkelių transporto kaltės per pastaruosius dešimt metų nežuvo nė vienas žmogus.

Geležinkelių transportu vežtų keleivių skaičius procentais nuo bendros transporto sistemos keleivių skaičiaus per paskutinius 8 metus parodytas 2.11 pav.

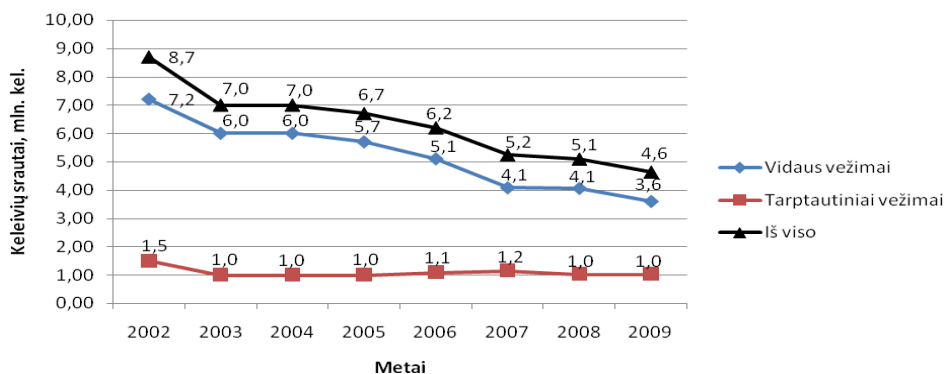


**2.11 pav.** Geležinkelių transportu vežtų keleivių skaičiaus procentas

**Fig. 2.11.** Percentage of number of passengers carried by railways

Iš 2.11 pav. matyti, kad geležinkelių transportu vežtų keleivių skaičiaus procentas per paskutinius penkerius metus mažėjo. Tai lėmė didėjanti kelių transporto pasiūla ir kokybė.

Geležinkelių transportu vežtų keleivių skaičius per paskutinius 8 metus parodytas 2.12 pav.



**2.12 pav.** Geležinkelių transportu vežtų keleivių skaičius

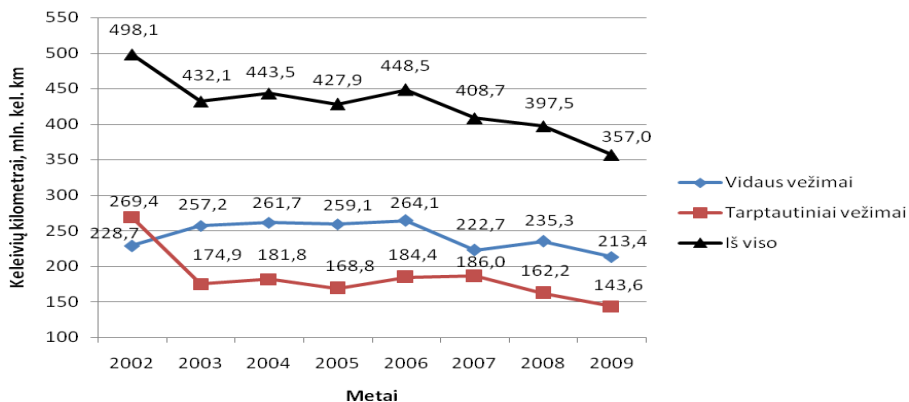
**Fig. 2.12.** Number of passengers carried by railways

Iš 2.12 pav. matyti, kad bendras geležinkelių transporto keleivių skaičius mažėja. Tai lėmė išorinės ir vidinės priežastys: išorinės priežastys – tai demografinės padėties kitimas (bendras gyventojų skaičiaus mažėjimas, gyventojų koncentracija miestuose), sparti automobilizacijos raida (didėjanti automobilių kelių transporto keleiviams vežti pasiūla ir kokybė bei kelių infrastruktūros kokybė); vidinės – nepakankamas susisiekimo greitis, komforto trūkumas (seni riedmenys, trūksta paslaugų, ne visur yra šiuolaikiškos stotys ir jų infrastruktūra), ne visada tinkami maršrutai, ne visada patogūs ir nepakankamai patikimi traukinių grafikai. Statistiškai šį mažėjimą iš esmės lemia mažėjančios vietinio vežimo apimtys, o tarptautinio vežimo apimtys stabilizuojasi. Jos stabilizuojasi, nes minėtos mažėjimo priežastys šį vežimą mažiau veikia: mažesnė konkurencija su automobilių transportu, nes atstumai didesni ir juos įveikti automobiliu ar autobusu sunkoka, tarptautinių maršrutų keleiviai mažiau naudojami infrastruktūra, todėl jiems ne taip svarbi stočių būklė, vietiniai maršrutai ar jų tvarkaraščių patogumas bei patikimumas.

Geležinkelių transportu vežtų keleivių apyvarta keleivių kilometrais per paskutinius 8 metus parodyta 2.13 pav.

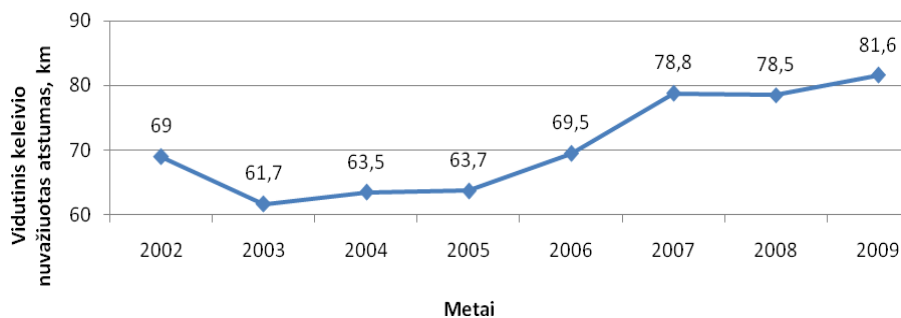
Analizuojant 2.13 pav. duomenis matyti, kad geležinkelių transportu vežtų keleivių apyvarta yra stabili (nors keleivių mažėja). Keleivių apyvarta keleivių kilometrais yra stabili, nes mažėjant keleivių, didėja vidutinis keleivio nuvažiuo-

tas atstumas. Tai rodo tendenciją, kad dėl reto traukinių tankumo reise keleiviai trumpesniems ruožams renka automobilius, nors jiems kelionė kainuoja šiek tiek brangiau.



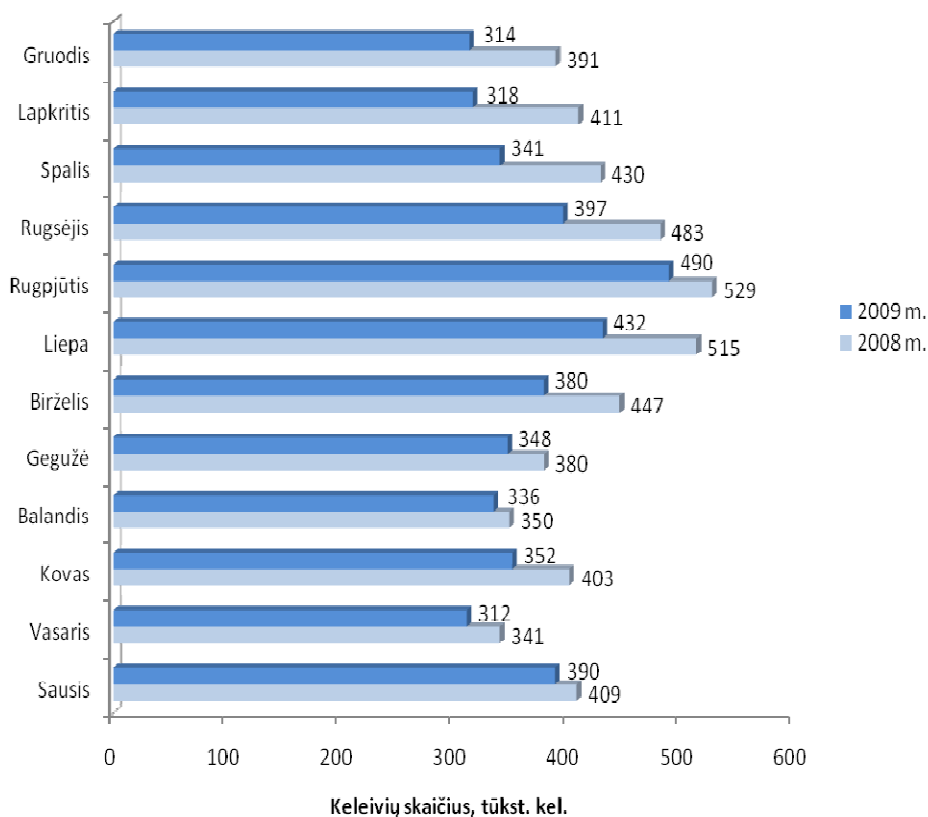
**2.13 pav.** Geležinkelių transportu vežtų keleivių apyvarta keleivių kilometrais  
**Fig. 2.13.** Turnover of passengers carried by railways in passenger-kilometres

Vidutinis keleivio nuvažiuotas atstumas geležinkeliais per pastaruosius 8 metus parodytas 2.14 pav.



**2.14 pav.** Vidutinis keleivio nuvažiuotas atstumas geležinkeliais  
**Fig. 2.14.** The average distance of one passenger traveled by railways

Iš 2.14 pav. matyti, kad vidutinis keleivio nuvažiuotas atstumas geležinkeliais pastaraisiais metais turi tendenciją didėti. Tai lemia tarptautinių vežimų didėjimas, o vietinių – mažėjimas. Keleivių srautai bėgant metams kinta. Šis kitimas 2008–2009 m. pagal mėnesius parodytas 2.15 pav.



2.15 pav. Keleivių srautų kitimas pagal mėnesius

Fig. 2.15. Changes in passenger flows by month

Iš 2.15 pav. matyti, kad keleivių srautų pikas yra rugpjūčio mėnuo. Tai greičiausiai lemia atostogų laikotarpio pabaiga ir mokslo metų pradžia.

## 2.7. Keleivinių riedmenų parko būklės analizė

### 2.7.1. Keleivinių riedmenų tipai

AB „Lietuvos geležinkeliai“ keleivius veža elektriniais ir dyzeliniais traukiniais, automotrisėmis ir keleiviniais traukiniais, traukiamais šilumvežiu. Šių tipų traukiniai toliau nagrinėjami.

**Elektrinis traukinys** – tai keleivinių vagonų junginys, sudarytas iš varomųjų, prikabinamųjų ir valdymo vagonų. Varomieji vagonai turi kėbulą, skirtą keleiviams vežti, elektros traukos variklius, srovės ėmiklius, vežimėlius, automati-

nes sankabas, suslėgtojo oro tiekimo sistemą, pagalbinę įrangą. Prikabinamieji vagonai iš esmės skiriasi nuo varomųjų tuo, kad neturi elektros traukos variklių, srovės ėmiklių. Valdymo vagonai ypatingi tuo, jog turi traukinio valdymo įrangą ir mašinisto kabiną. Galėtų būti formuojami dviejų vagonų traukiniai.

**Dyzelinis traukinys** – tai keleivinių vagonų junginys, sudarytas iš variklinių ir prikabinamųjų vagonų. Kai kurie modernizuoti dyzeliniai traukiniai turi valdymo vagonus. Dyzelinio traukinio variklinis vagonas turi kėbulą keleiviams vežti, dyzelinę jėgainę (dyzelinį variklį ir transmisiją), mašinisto kabiną su traukinio valdymo įranga, vežimėlius, automatinės sankabas, suslėgtojo oro sistemą, pagalbinę įrangą. Valdymo vagonas skiriasi tuo, kad neturi jėgainės (jis turi mašinisto kabiną su traukinio valdymo įranga). Prikabinamasis vagonas neturi nei jėgainės, nei mašinisto kabinos.

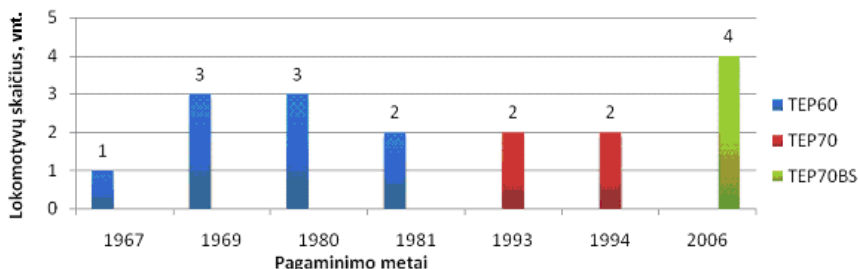
Dažniausiai dyzeliniai traukiniai formuojami iš penkių vagonų: variklinis vagonas, trys prikabinamieji vagonai, variklinis vagonas. Esant mažiems keleivių srautams AB „Lietuvos geležinkeliai“ pradėjo naudoti modernizuotus dyzelinius traukinius iš trijų vagonų: variklinis vagonas, prikabinamasis vagonas, valdymo vagonas.

**Automotrisė** – tai geležinkelio riedmuo, skirtas keleiviams vežti, turintis kėbulą keleiviams vežti, jėgainę (variklį ir transmisiją), dvi mašinisto kabinas su valdymo įranga, vežimėlius, automatinės sankabas, suslėgtojo oro sistemą, pagalbinę įrangą. Automotrisės būna elektrinės arba dyzelinės. AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojamos automotrisės yra dyzelinės. Automotrisė gali būti formuojama su papildomu vagonu.

**Keleivinis traukinys, traukiamas šilumvežio**, sudarytas iš keleivinių vagonų ir šilumvežio. Vagonų skaičius atitinka ruožo keleivių skaičių.

### 2.7.2. Keleivinių lokomotyvų skaičiaus pasiskirstymas pagal pagaminimo metus

Keleivinių lokomotyvų skaičiaus pasiskirstymas pagal pagaminimo metus parodytas 2.16 pav.



**2.16 pav.** Keleivinių lokomotyvų skaičiaus pasiskirstymas pagal pagaminimo metus  
**Fig. 2.16.** Passenger locomotives distribution in accordance with years of manufacture

2.16 pav. matyti, kad didžiausią dalį sudaro TEP60 serijos lokomotyvai, pagaminti iki 1981 m. imtinai. Naujausi yra keturi vienetai TEP70BS lokomotyvų, pagamintų 2006 m.

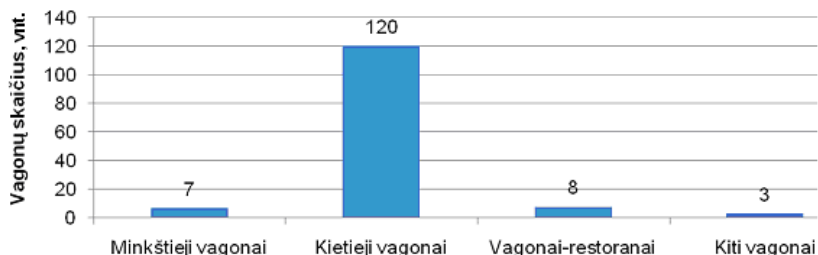
Šiuo metu šilumvežiai kabinami prie vietinių ir tarptautinių maršrutų traukinių. Analizuojant esamą AB „Lietuvos geležinkeliai“ šilumvežių parko būklę, keleivinių traukinių maršrutus, keleivių srautus, elektrifikavimo planus, galima numatyti šį keleivinių šilumvežių parko perspektyvinį atnaujinimo planą:

1. Pakeitus vienintelį šalies vidinį keleivinį traukinį su lokomotyvų trauka Vilnius–Klaipėda šiuolaikiniais dyzeliniais moduliniiais traukiniais, galima būtų išspręsti senstančių TEP60 šilumvežių problemą, kurių ekonomiškas, patikimumas ir ekologiškumas lygis jau senai neatitinka šiuolaikinių reikalavimų.
2. Likusi šilumvežio parko dalis – lokomotyvai TEP70, naudojamų tik tarptautiniuose traukinių maršrutuose.
3. Pasibaigus šių lokomotyvų resursui, naujų lokomotyvų pirkimas bus susijęs su Lietuvos ir kaimyninių šalių elektrifikacijos planais, tranzitinių traukinių skaičiumi, naujų maršrutų įvedimu, keleivių srautų pokyčiais, „Rail Baltica“ projekto įgyvendinimu ir kitais veiksniais. Todėl keleivinių šilumvežių parko atnaujinimo projektai turi būti operatyvūs ir orientuojami į palyginti trumpalaikę perspektyvą, naudojant traukinių parinkimo modelius, atsižvelgiant į nuolat kintančius keleivių vežimo aplinkos veiksnus.

### 2.7.3. Keleivinių vagonų parko bendroji analizė

Keleivinių vagonų parko statistikos analizė atlikta remiantis 2009 m. sausio 1 d. duomenimis.

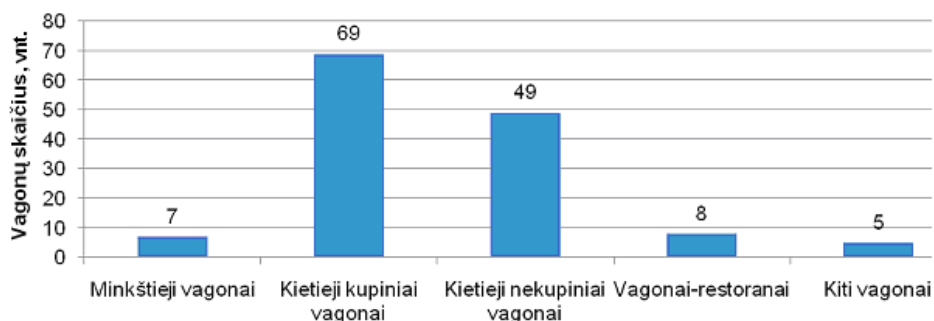
Keleivinių vagonų parką sudaro 138 vagonai, iš jų: 7 minkštieji, 13 miegamųjų atviro tipo, 69 kupinių, 36 sėdimieji, 8 restoranai, 3 bagažo ir 2 tarnybiniai. Šį parką galima suskirstyti į minkštuosius, kietuosius, vagonus-restorano vagonus ir kt. Vagonų skaičiaus pasiskirstymas pagal tai pateiktas 2.17 pav.



2.17 pav. Vagonų skaičiaus pasiskirstymas

Fig. 2.17. Distribution of the number of passenger carriages

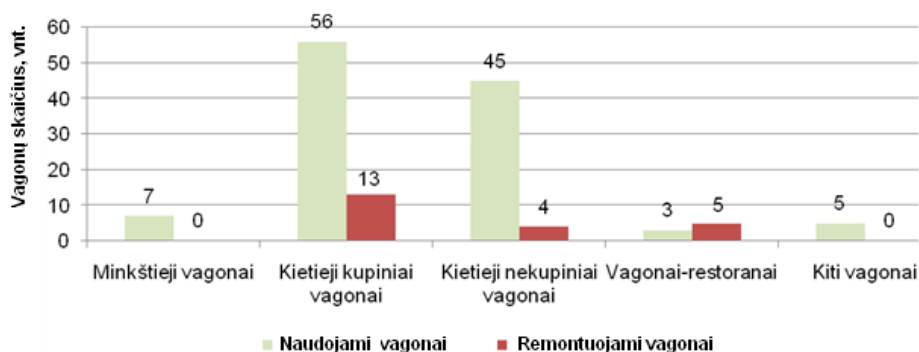
2.17 pav. matyti, jog absoliučią daugumą (120 iš 138) sudaro kietieji vagonai. Kietieji vagonai būna kupiniai ir nekupiniai, todėl nagrinėjant vagonų skaičių, pastaruosius galima išskirti. Vagonų skaičiaus pasiskirstymas, išskiriant kupinius ir nekupinius vagonus, pateiktas 2.18 pav.



**2.18 pav.** Vagonų skaičiaus pasiskirstymas, išskiriant kupinius ir nekupinius vagonus  
**Fig. 2.18.** Distribution of the number of wagons, excluding coupe and non coupe carriages

Šiuo metu kietųjų kupinių ir nekupinių vagonų skaičius skiriasi (atitinkamai 69 ir 49 vagonai). Toks išskyrimas būtinas, nes šių vagonų bilietų kainos skirtingos. Tai svarbu skaičiuojant gautas pajamas.

Kadangi ne visi vagonai naudojami keleiviams vežti (dalis jų remontuojami ar modernizuojami), todėl vagonų parko naudojimo koeficientui nustatyti reikia žinoti vagonų, kurie paprastai remontuojami, skaičių. Dirbančių ir laukiančių remonto vagonų skaičius pateiktas 2.19 pav.



**2.19 pav.** Vidutinis naudojamų ir remonto laukiančių vagonų skaičius  
**Fig. 2.19.** Average number of operating and repairing passenger carriages



Kaip matyti iš 2.19 pav., remontuojama apie 19 proc. kietųjų kupinių vagonų ir 8 proc. kietųjų nekupinių vagonų.

Praktikoje vagonų parko naudojimo koeficientas apskaičiuojamas taip:

$$K = \frac{N_d}{N_b}; \quad (2.1)$$

čia:  $N_d$  – naudojamų vagonų skaičius;  $N_b$  – bendras vagonų skaičius parke.

$$K = \frac{116}{138} = 0,84. \quad (2.2)$$

Dabar naudojamo keleivinio parko efektyvumą tikslinga išskirti pagal atskiras rūšis (elektrinis traukinys, dyzelinis traukinys, šilumvežis-vagonas ir automotrisė) vienam vagono našumui  $Q_v$ , ir pagal keleivius  $W_{vk}$ , ir pagal pajamas  $Q_{vp}$ :

$$Q_{vkl} = \sum L_i / N_{di}; \quad (2.3)$$

$$Q_{vkp} = \sum P_i / N_{di}; \quad (2.4)$$

čia:  $\sum L_i$  – kel. km kelio  $i$ -tosios rūšies vagonui per metus per metus;  $\sum P_i$  – pajamos, gautos vežant keleivius  $i$ -tosios rūšies vagone per metus, Lt;  $N_{di}$  – keleivinių vagonų darbo parkas.

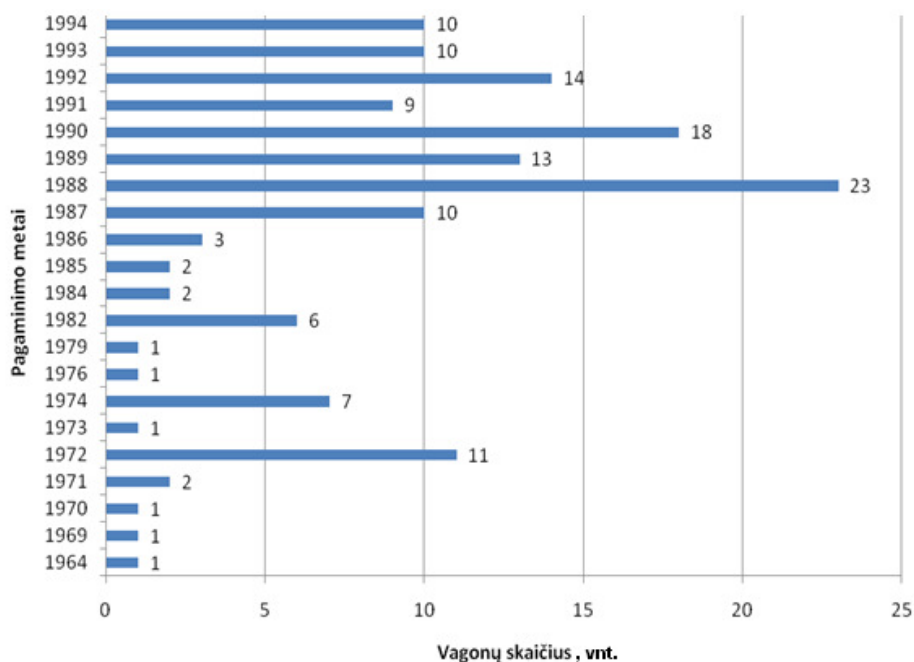
Bendras AB „Lietuvos geležinkeliai“ keleivinių vagonų skaičiaus pasiskirstymas pagal jų pagaminimo metus pateiktas 2.20 pav.

2.20 pav. matyti, kad didžioji dalis vagonų pagaminta nuo 1987 iki 1994 m. imtinai.

Neblogą keleivinių vagonų parko naudojimo koeficientą daugiausia lemia tai, kad parke mažai senos gamybos (1964–1986 m.) vagonų. Tačiau dar yra tam tikras rezervas parko naudojimo koeficientui didinti gerinant vagonų techninės priežiūros ir remonto sąlygas bei kokybę.

Tolesniam keleivinių sąstatų optimizavimui būtina žinoti technines atskirų vagonų charakteristikas, ypač keleivių skaičiaus ir komforto požiūriu. Duomenys apie miegamuosius vagonus pateikti 2.5 lentelėje, o apie sėdimuosius – 2.6 lentelėje.

Siekiant suformuoti racionalius traukinių sąstatus, būtina žinoti jų atskirų rūšių keleivinių riedmenų vagonų jungimo galimybes pagal esamą keleivių skaičių. Šie duomenys pateikti 2.7 ir 2.9 lentelėse.



**2.20 pav.** Bendras keleivinių vagonų skaičiaus pasiskirstymas pagal jų pagaminimo metus

**Fig. 2.20.** The total number of passenger carriages by their first year

**2.5 lentelė.** Techniniai miegamųjų keleivinių vagonų duomenys

**Table 2.5.** Sleeping passenger carriages specifications

Vagono tipas	Vietų skaičius vagone		
	gulimųjų	stovimųjų	iš viso
Minkštieji	18	0	18
Kietieji kupiniai	36	0	36
Kietieji nekupiniai (paprastieji miegamieji)	54	0	54

**2.6 lentelė.** Techniniai sėdimųjų keleivinių vagonų duomenys

**Table 2.6.** Seating passenger carriages specifications

Vagono tipas	Vietų skaičius vagone		
	sėdimųjų	stovimųjų	iš viso
Sėdimasis aštuonių vietų kupė	72	0	72
Sėdimasis su dviem kupė	56	0	56
Sėdimasis	62	0	62

**2.7 lentelė.** AB „Lietuvos geležinkeliai“ galimi elektrinių traukinių sąstatų deriniai  
**Table 2.7.** JSC “Lithuanian Railways” possible combinations of electric train set

Elektriniai traukiniai	Sėdimųjų vietų	Masė, t	Didžiausias greitis, km/val.	Elektros energijos sąnaudos 100 km, kWh	Telemechaninė mašinisto budrumo sistema
EJ575 (dviaukštis)	304	210	160	530	Taip (1 asmuo)
ER9M (4 vagonų)	380	238	120	585	2 asmenys
ER9M (8 vagonų)	760	476	120	1170	2 asmenys
ER9M (12 vagonų)	1140	714	120	1755	2 asmenys

**2.8 lentelė.** AB „Lietuvos geležinkeliai“ galimi dyzelinių traukinių sąstatų deriniai  
**Table 2.8.** JSC “Lithuanian Railways” possible combinations of diesel train set

Dyzeliniai traukiniai	Sėdimųjų vietų skaičius	Masė, t	Didžiausias greitis, km/val.	Degalų sąnaudos 100 km, l	Telemechaninė mašinisto budrumo sistema
D1 (3 vagonų)	272	178	120	175	2 asmenys
D1 (4 vagonų)	400	215	120	180	2 asmenys
DR1A (3 vagonų)	190	148	120	150	2 asmenys
DR1A (4 vagonų)	392	184	120	151	2 asmenys
DR1A (6 vagonų)	648	256	120	162	2 asmenys
DR1AM (3 vagonų)	285	135	120	85	2 asmenys
DR1A 300 (6 vagonų)	520	256	120	162	2 asmenys
RA2 (2 vagonų)	124	90	100	75	Taip (1 asmuo)
RA2 (3 vagonų)	210	126	100	80	Taip (1 asmuo)
Motrisės 620M	92	58	120	55	Taip (1 asmuo)
Motrisė AR2	75	50	120	75	2 asmenys

**2.9 lentelė.** AB „Lietuvos geležinkeliai“ galimi atskiru lokomotyvu traukiamų sąstatų deriniai

**Table 2.9.** JSC “Lithuanian Railways” possible train combinations with a separate locomotive

Keleiviniai vagonai	Sėdimųjų vietų skaičius	Masė (be šilumvežio), t	Didžiausias greitis, km/val.	Degalų sąnauda 100 km, l	Mašinisto budrumo sistema
3 vagonai	186	180	120	Vidutiniškai 400 (TEP70BS)	2 asmenys
4 vagonai	248	240	120		
10 vagonų	620	600	120		
20 vagonų	1240	1200	120		

Didžiausias sąstato ilgis Lietuvoje imtas pagal Vilniaus stoties galimybes. Realus ribinis ilgis – 10 vagonų, jis priklauso nuo mažesnių stočių kelyje Vilnius–Klaipėda peronų ilgio.

Esama komforto įranga šiuo metu eksploatuojamuose keleiviniuose traukiniuose parodyta 2.10 lentelėje.

**2.10 lentelė.** AB „Lietuvos geležinkeliai“ komforto įranga šiuo metu eksploatuojamuose keleiviniuose traukiniuose

**Table 2.10.** Comfort facilities in operation of JSC “Lithuanian Railways” passenger trains

Keleiviniai traukiniai	Žemagrindis	Oro kondicionavimas	Vakuuminiai tualetai	Salono vaizdo stebėjimo sistema	Pritaikyta neigaliesiems
Elektriniai traukiniai:					
ER9M	Ne	Ne	Dalyje	Ne	Ne
EJ575 (dviauškis)	Taip	Taip	Taip	Taip	Taip
Dyzeliniai traukiniai:					
D1 (3 vagonų)	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne
DR1 serija (3 vagonų)	Ne	Ne	Dalyje	Ne	Ne
RA2 (2 vagonų)	Ne	Priverstinė ventiliacija	Taip	Ne	Taip
Motrisės 620M	Papildomas laiptelis	Taip	Taip	Taip	Taip

2.10 lentelėje nepateiktos mechaninių virpesių ir triukšmų charakteristikos vagonų salonuose. Vibracijos itin pavojingos žmogaus sveikatai ir labai blogina komforto sąlygas. Todėl šiame darbe jų nagrinėjimui bus atkreiptas ypatingas dėmesys (4 skyrius).

## 2.8. Antrojo skyriaus išvados

1. Per pastaruosius ketverius metus vežtų keleivių skaičius Lietuvoje stabilizavosi ir vidutiniškai sudaro 4,2 mln. per metus, tačiau už parduotus bilietus gautos pajamos sudarė vidutiniškai tik 13,7 % patiriamų išlaidų.
2. Pagrindinės priežastys, lemiančios nuostolius vežant keleivius geležinkeliais – mažas keleivių skaičius, šiuolaikiškų riedmenų trūkumas, prasta geležinkelių infrastruktūra, neracionalus riedmenų naudojimas atskiruose vietinio susisiekimo ruožuose.
3. Prognozuojama, kad 2030 m. keleivių skaičius gali išaugti iki 3,5 karto per metus (apie 14 mln.). Pastaraisiais metais geležinkeliais vežama tik apie 1,1 % visų keleivių. Tikimasi, kad minėtas keleivių prieaugis turėtų atsirasti perimant dalį keleivių iš automobilių transporto.
4. Keleivinių riedmenų parkas šiuo metu nėra optimaliai pritaikytas keleiviams vežti vietiniais ruožais su smarkiai kintamu keleivių skaičiumi ir atstumais. Parkas nėra pritaikytas įvairių vežimo priemonių lanksčiai transformacijai pagal kintamą keleivių skaičių. Todėl kita darbo dalis yra skirta optimalios traukos parinkimui ir sąstatų ilgio formavimui pagal kiekvienu momentu susidarantią situaciją.



---

## Matematinio modelio sudarymas ir taikymas priemonėms parinkti

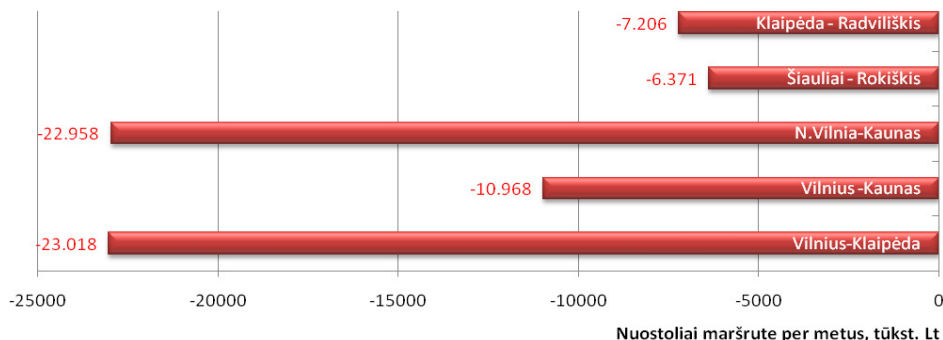
Skyriuje nagrinėjamas racionalių sąstatų keleiviams vežti parinkimas, atsižvelgiant į jų srautus maršrutuose, priemonių tipą ir galimą traukos rūšį siekiant maksimaliai sumažinti patiriamas išlaidas. Skyriaus tematika paskelbtas autoriaus straipsnis (Dailydka 2010).

### 3.1. Racionalių keleivinių sąstatų parinkimo privalumai

Bet kuri naudojama technika tiek geležinkelyje, tiek visame ūkyje bus efektyviausiai naudojama tik tada, kai bus maksimaliai apkrauta. Kalbant apie keleivių vežimą geležinkeliu, tai atitinka kuo didesnę vagonų pripildymą keleiviais. Pastaruoju metu yra ruožų (Šiauliai–Mažeikiai, Klaipėda–Šilutė, Kaunas–Kaišiadorys), kuriuose vietų užimtumas traukiniuose sudaro vos 10 % ar mažiau.

Skirtingomis kryptimis ir atskiruose ruožuose keleivių skaičius yra labai įvairus: jis priklauso ne tik nuo keleivių traukos centrų išsidėstymo, bet ir nuo paros ar metų laiko. Šiuo metu taikoma sąstatų ilgio ir traukos priemonių parin-

kimo praktika ne visada racionali. Šie parametrai paprastai keičiami tik vasaros ar žiemos periodams. Tai puikiai iliustruoja pateiktas pavyzdys 3.1 pav.



**3.1 pav.** Pagrindiniuose maršrutuose per metus vidutiniškai patiriami nuostoliai

**Fig. 3.1.** Average annual losses on the main routes

Kaip buvo minėta 2 skyriuje, pastaruoju metu Lietuvos geležinkelių tinkle naudojama elektrinė ir šiluminė trauka: dyzeliniai traukiniai, šilumvežiai ir automotrisės. Tiek ekologiniu, tiek ekonominiu požiūriu geriausia būtų naudoti elektrinę trauką. Nors AB „Lietuvos geležinkeliai“ planuose numatoma visų ruožų elektrifikacija, tačiau įgyvendinti tai nėra paprasta. Visų pirma reikalingos didžiulės investicijos, o aptarnaujant tranzitinius traukinius būtina, kad ir mūsų kaimynai elektrifikuotų savas linijas. Tačiau artimiausiu metu Lietuvos geležinkeliams būtina pasirinkti ne tik racionaliausius traukinių sąstatus, bet ir kuo pigesnę trauką. Išanalizavus pastarųjų šešerių metų įvairiais maršrutais eksploatuotų riedmenų duomenis, apskaičiuotos vidutinės sąnaudos, tenkančios vieno vagono vienam kilometrui, esant skirtingoms traukoms. Lyginamosios sąnaudos pagal traukas pateiktos 3.1 lentelėje.

Lentelės duomenys rodo, kad pigiausia vieno vagono trauka yra elektrinė. Toliau šiame skyriuje pabandysime nustatyti 1 traukinio km sąnaudas optimizavus sąstatų ilgį priklausomai nuo keleivių skaičiaus ir parinkus pačią palankiausią trauką.

Ištyrus vietiniais maršrutais važiuojančių keleivių dinamiką nustatyta, kad daugiausia atvejų jų skaičius neviršija 80 žmonių, t. y. ne daugiau nei telpa į vieną vagoną. Šiuo aspektu automotrisė yra patraukliausia priemonė.

Remiantis elektros ir šiluminių variklių teorija, galima konstatuoti, kad 1 kWh atlieka apie 1,6 karto daugiau naudingojo darbo esant elektrinei traukai, lyginant su šilumine. Taigi elektrinė trauka visuomet yra pranašesnė už šiluminę, ne tik ekonominiu, bet ir ekologiniu požiūriu.



**3.1 lentelė.** Vieno vagono kilometro išlaidų, esant skirtingoms traukoms, palyginimas  
**Table 3.1.** Comparison between different traction of one carriage per kilometre cost

Eil. Nr.	Traukos rūšis	Sąnaudos, Lt
1	Elektrinė trauka	5,58
2	Automotrisė	5,93
3	Dyzelinė trauka	6,02
4	Šilumvežis	8,03

Dėl įvairių priežasčių parinkti mažiausiai nuostolingą (elektrinę) trauką visiems maršrutams šiuo metu nėra galimybių, todėl, siekiant mažinti patiriamus keleivių vežimo nuostolius, tikslinga, atsižvelgiant į technologines galimybes ir keleivių srautus, išanalizuoti traukos priemonių ir vagonų skaičiaus atskiruose maršrutuose galimus derinius. Tam tikslui reikia sudaryti matematinį modelį, kuriam taikant netiesinių lygčių su daugeliu kintamųjų ir apribojimais ekstremumo paieškos metodą, būtų galima optimizuoti išlaidų komponentių visumą ir taip konkrečiam maršrutui (atsižvelgiant į metų, paros laiką) parinkti racionaliausiai traukos priemonių ir vagonų skaičiaus derinį.

### 3.2. Keleivių srautai pagal ruožus ir vežimo priemonių parinkimo modelis

Kadangi pajamos vežant keleivius surenkamos už parduotus bilietus, todėl jas lemia bendras geležinkelių transporto keleivių skaičius. Nuostolius iš šios veiklos daugiausia lemia mažas keleivių skaičius. Be to, atskiri ruožai apkrauti labai nevienodai ir netolygiai. Todėl akivaizdžiai atsiranda poreikis keisti vagonų skaičių pačiame maršrute. Norint sužinoti šiuo metu esamą padėtį ruožuose, buvo ištirta keleivių skaičiaus kitimo dinamika maršrutuose.

Iš kelių galimų regresijos lygčių buvo pasirinkta ta kreivė, kurios koreliacijos koeficientas buvo didžiausias ir atitinkamai kvadratinė paklaida mažiausia. Apdoroti statistiniai duomenys pateikti 3.2 lentelėje.

**3.2 lentelė.** Keleivių skaičiaus dinamika pagal maršrutus**Table 3.2.** Dynamics of the number of passengers in terms of routes

Maršrutas	Regresijos lygtis	Determinacijos koeficientas
1	2	3
Rokiškis–Šiauliai	$K(x) = 0,0217x^3 - 0,7030x^2 + 7,4925x - 7,3577$	$R^2 = 0,9462$
Šiauliai–Rokiškis	$K(x) = 0,0003x^3 - 0,0198x^4 + 0,4163x^3 - 3,4857x^2 + 8,718x + 22,8790$	$R^2 = 0,6258$
Vilnius–Šiauliai	$K(x) = 0,0030x^3 - 0,01930x^2 + 0,1267x + 8,3938$	$R^2 = 0,8088$
Šiauliai–Vilnius	$K(x) = 3,3364x + 34,4440$	$R^2 = 0,8335$
Šiauliai–Kaunas	$K(x) = 0,0161x^3 - 0,4527x^2 + 2,3664x + 25,856$	$R^2 = 0,8357$
Kaunas–Šiauliai	$K(x) = -0,2934x^2 + 3,5786x + 24,777$	$R^2 = 0,8688$
Klaipėda–Radviliškis	$K(x) = -0,0018x^3 + 0,0263x^2 + 0,0594x + 22,276$	$R^2 = 0,5330$
Radviliškis–Klaipėda	$K(x) = -0,012x^3 + 0,2816x^2 + 1,8147x + 11,029$	$R^2 = 0,9770$
Vilnius–Marcinkonys	$K(x) = -0,0475x^3 + 1,1134x^2 - 8,706x + 52,282$	$R^2 = 0,5539$
Marcinkonys–Vilnius	$K(x) = 1,2237x^2 - 9,3085x + 51,435$	$R^2 = 0,9154$
Vilnius–Varėna	$K(x) = 0,0809x^3 - 0,6358x^2 - 15,408x + 165,77$	$R^2 = 0,9507$
Varėna–Vilnius	$K(x) = -0,1929x^3 + 5,0374x^2 - 25,36x + 58,625$	$R^2 = 0,9456$
Vilnius–Ignalina	$K(x) = 0,0075x^3 - 0,5798x^2 + 1,5123x + 88,004$	$R^2 = 0,9491$
Ignalina–Vilnius	$K(x) = -5,7084x + 106$	$R^2 = 0,8896$
Vilnius–Turmantas	$K(x) = -0,1654x^2 - 1,6307x + 101,08$	$R^2 = 0,9509$
Turmantas–Vilnius	$K(x) = 4,8757x + 23,352$	$R^2 = 0,9441$
Vilnius–Kena	$K(x) = -0,216x^3 + 1,8422x^2 - 4,0205x + 17,484$	$R^2 = 0,8347$
Kena–Vilnius	$K(x) = -0,216x^3 + 1,8422x^2 - 4,0205x + 17,484$	$R^2 = 0,8347$
Kaunas–Šeštokai	$K(x) = -4,2146x + 66,434$	$R^2 = 0,8767$
Šeštokai–Kaunas	$K(x) = -0,0411x^3 + 1,3483x^2 - 8,4348x + 13,545$	$R^2 = 0,9355$
Kaunas–Kybartai	$K(x) = -6,9525x + 95,152$	$R^2 = 0,9314$
Kybartai–Kaunas	$K(x) = -0,2051x^3 + 3,7733x^2 - 12,143x + 17,253$	$R^2 = 0,9640$
Vilnius–Trakai	$K(x) = -0,8882x^2 + 1,8878x + 9,2477$	$R^2 = 0,8256$
Trakai–Vilnius	$K(x) = -2,5534x + 13,689$	$R^2 = 0,7528$
Vilnius–Kaunas	$K(x) = 2,2145x + 0,4758$	$R^2 = 0,8395$
Kaunas–Vilnius	$K(x) = -0,1092x^3 + 2,2145x^2 - 9,0851x + 17,266$	$R^2 = 0,9359$
Radviliškis–Šiauliai	$K(x) = 2,5089x + 2,8371$	$R^2 = 0,9327$
Šiauliai–Radviliškis	$K(x) = -0,1888x^4 + 3,1907x^3 - 17,597x^2 + 34,816x - 1,6772$	$R^2 = 0,9479$
Vilnius–Stasylos	$K(x) = -6,6047x + 106,92$	$R^2 = 0,8306$

3.2 lentelės pabaiga

1	2	3
Stasylos–Vilnius	$K(x) = 0,0469x^3 - 1,0855x^2 + 8,489x - 4,5163$	$R^2 = 0,9531$
Rokiškis–Šiauliai	$K(x) = 0,0217x^3 - 0,703x^2 + 7,4925x - 7,3577$	$R^2 = 0,9462$
Šiauliai–Rokiškis	$K(x) = 0,0003x^5 - 0,0198x^4 + 0,4163x^3 - 3,4857x^2 + 8,718x + 22,879$	$R^2 = 0,6258$
Vilnius–Klaipėda	$K(x) = -0,2789x^2 + 11,682x + 4,6654$	$R^2 = 0,9597$
Klaipėda–Vilnius	$K(x) = 1,4374x^2 - 24,307x + 134,48$	$R^2 = 0,9165$
Vilnius–Šeštokai	$K(x) = 1,9825x^2 - 34,996x + 164,04$	$R^2 = 0,8984$
Šeštokai–Vilnius	$K(x) = -1,7647x^2 + 25,371x - 22,646$	$R^2 = 0,9310$

$K(x)$  – keleivių skaičius;  $x$  –  $k$ -tojo maršruto stotelės numeris;  $x = 1, 2, \dots, n_k$ ;  $k$ -tojo maršruto stotelių skaičius.

Iš 3.2 lentelės matyti, kad reiso keleivių skaičiaus kitimas paklūsta labai įvairioms funkcinėms priklausomybėms. Keliaujančiųjų Lietuvos geležinkeliais kaita ruožuose dažniausiai atitinka 1, 2 ir 3-iojo laipsnio regresiniam pasiskirstymui. Taigi parenkant vagonų skaičių į tai būtina atsižvelgti. Tai sudaro šiek tiek keblumų, nes nors kiek viršijus keleivių skaičių pasirinktuose vagonuose, reikėtų skirti papildomą vagoną, kuris važiuotų pustuštis. Todėl trumpiausiuose maršrutuose tikslinga išnaudoti stovimas vietas, o likusius kelis keleivius persodinti į autobusą, o kelionę geležinkeliu baigti nustatytame punkte.

### 3.3. Matematinio modelio sudarymas

Modeliu bus apskaičiuojamas pelnas (nuostoliai)  $\Delta$  vienam traukinio kilometrui. Supaprastinta modelio forma atrodytų taip:

$$\Delta = P - I = \sum_{i=1}^m P_i - \sum_{j=1}^n I_j, \quad (3.1)$$

čia:  $\Delta$  – pajamų ir išlaidų skirtumas, Lt/trauk. km;  $P$  – bendrosios pajamos, Lt/trauk. km;  $I$  – bendrosios išlaidos, Lt/trauk. km;  $P_i$  –  $i$ -tosios pajamos, gautos už keleivių bilietus, kompensacijos už suteiktas nuolaidas bei dotacijos už negautas pajamas;  $I_j$  –  $j$ -osios keleivių vežimo sąnaudos, kuriose įvertintas mokėstis už naudojimąsi viešąja geležinkelių infrastruktūra, riedmenų nusidėvėjimas, išlaidos darbo užmokesčiui, medžiagoms, degalams, remontui ir kitos išlaidos;  $m$  – pajamų skaičius (mūsų atveju  $m = 3$ );  $n$  – išlaidų skaičius (mūsų atveju  $n = 7$ ).

Įvertinus keleivių vežimo įkainius, keleivių skaičių bei remiantis norminiais dokumentais, kuriais remiantis apskaičiuojamas dotacijų ir kompensacijų dydis, modelio pajamų sudedamoji dalis atrodytų taip:

$$P = \{k_{kp} \times P_1 \times K(x) + k_{dot}(V \times L_{reis} \times I_m \times \left(1 + \frac{r}{100}\right) - k_{kp} \times P_1 \times K(x) - I_k) + k_{komp} \times I_k\} \times \frac{1}{L_{reis}} \quad (3.2)$$

čia:  $k_{kp}$  – keleivių skaičiaus proporcingumo koeficientas (1; 1,05; 1,1; 1,15; ...);

$P_1$  – vidutinis bilietų įkainis Lt, kur  $P_1 = \sum_{k=1}^{n_k} l_k b_{km}$  (čia  $l_k$  –  $k$ -tojo tarpstočio ilgis,

km;  $b_{km}$  – 1 kel. km įkainis, Lt);  $K(x)$  – keleivių skaičiaus kitimas ruože pagal tarptstočius, vnt.;  $k_{komp}$  – kompensacijos koeficientas;  $V$  – traukinio vagonų skaičius, vnt.;  $L_{reis}$  – atstumas, km;  $I_m$  – maršruto vieno vagono kilometro faktinės sąnaudos, patirtos vykdant viešųjų paslaugų išpareigojimą, Lt;  $r$  – rentabilumas, %;  $I_k$  – traukinio išlaidų kompensacija dėl keleiviams teikiamų lengvatų, Lt;  $k_{dot}$  – dotacijos koeficientas.

Didžiausią išlaidų dalį (30–40 proc.) sudaro mokestis už naudojimąsi geležinkelio infrastruktūra. Jį sudaro pradinė bei galinė įmokos ir mokestis už kontaktinio tinklo naudojimą. Likusias sudaro darbo užmokesčio, degalų, tepalų, remonto bei kitos išlaidos. Jei vagonų daugiau nei vienas, šių komponentų suma dauginama iš funkcijos, nusakančios išlaidų padidėjimą priklausomai nuo vagonų skaičiaus. Kad nereikėtų skaičiuoti išlaidų kiekvienai traukai atskirai, modelyje viskas apskaičiuota elektrinei traukai, o kitoms apskaičiuojama pritaikius traukos koeficientą, kuris yra elektrinės ir kitos pasirinktos traukos santykis. Taigi, įvertinus visas išvardytas komponentes, modelio išlaidų sudedamoji dalis atrodytų taip:

$$I = \left[ \left( \left( \frac{E_{kel}}{R_{kel}} + \frac{E_{kt}}{R} \right) \times \frac{R_l}{R_{kel}} + \left( \frac{I_{kel}}{A_{kel}} + \frac{I_{kt}}{A} \right) \times \frac{A_{kel}}{R_{kel}} + \frac{I_{kont}}{R_{kel}} \right) + (D_{už} + M + D_t + N + R_k + K_{iš}) \times f(Z_{vag}) \right] \times a \quad (3.3)$$

čia:  $E_{kel}$  – traukinių eismo organizavimo ir valdymo išlaidos, patiriamos tik dėl geležinkelio įmonių, vežančių keleivius ir bagažą, aptarnavimo, Lt;  $E_{kt}$  – traukinių eismo organizavimo ir valdymo išlaidos, patiriamos tiek dėl geležinkelio įmonių, vežančių keleivius ir bagažą, tiek dėl geležinkelio įmonių, vežančių kro-

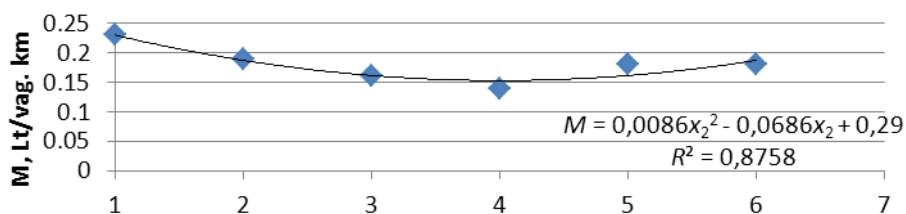
vinius, priežiūros;  $R_{kel}$  – keleivinių traukinių rida (trauk. km);  $R$  – visų traukinių rida (trauk. km);  $R_1$  – rezervuota traukinių rida (trauk. km)  $I_{kel}$  – viešosios geležinkelių infrastruktūros išlaidos, patirtos tik dėl geležinkelio įmonių, vežančių keleivius ir bagažą, priežiūros, Lt;  $I_{kt}$  – viešosios geležinkelių infrastruktūros išlaidos, patirtos tiek dėl geležinkelio įmonių, vežančių keleivius ir bagažą, tiek dėl geležinkelio įmonių, vežančių krovinius, priežiūros, Lt;  $A_{kel}$  – keleivinių traukinių darbo apimtis, tkm bruto;  $A$  – visų traukinių darbo apimtis (tkm bruto);  $I_{kont}$  – išlaidos kontaktiniam tinklui, Lt;  $D_{už}$  – darbo užmokestis, Lt/vag. km;  $M$  – išlaidos medžiagoms, Lt/vag. km;  $D_t$  – išlaidos degalams, tepalams, Lt/vag. km;  $N$  – riedmenų nusidėvėjimas, Lt/vag. km;  $R_k$  – remonto išlaidos, Lt/vag. km;

$K_{iš}$  – kitos išlaidos, Lt/vag. km;  $a$  – traukos koeficientas, čia  $a = T \sqrt{\prod_{t=1}^T \frac{a_{dt}}{a_{et}}}$  ( $a_{dt}$  –

dyzelinės/šiluminės traukos sąnaudos  $t$ -aisiais metais, Lt/trauk. km;  $a_{et}$  – elektros traukos sąnaudos  $t$ -aisiais metais, Lt/trauk. km;  $T$  – metų skaičius);  $f(Z_{vag})$  – sąlyginis vagonų skaičius.

Kadangi buvo disponuojama pastarųjų šešerių metų statistiniais duomenimis, tikslinga išlaidų komponentėms sudaryti regresijos lygtis, nusakančias išlaidų kitimą laiko atžvilgiu ir tokiu būdu modelio galimybes praplėsti nuo esamos situacijos analizės iki prognozių ateityje.

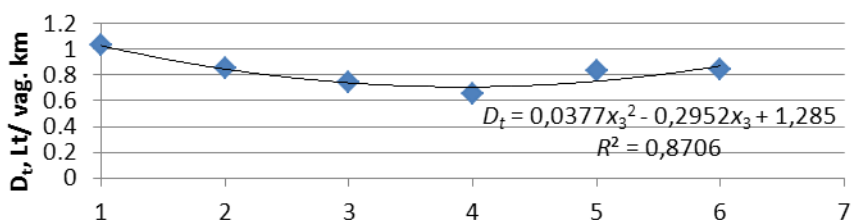
Dotacijų ir kompensacijų už keleivių vežimą dydis tiesiogiai priklauso nuo šalies ekonominės padėties, todėl jų pokyčio laiko atžvilgiu nagrinėti netikslinga, modelyje bus naudojami minėto analizuojamojo periodo šių reikšmių vidurkiai. Infrastruktūros mokestis tiesiogiai priklauso nuo jos išlaikymo ir plėtros poreikio, todėl jo sumažinimo ar padidrinimo tikslingumas nustatomas atsižvelgiant į kitus parametrus. Mūsų atveju jis bus naudojamas kaip sveikasis skaičius, kuris gali būti keičiamas siekiant įvertinti teorines galimybes. Likusių komponentių pokytis laikui bėgant pavaizduotas 3.2–3.5 pav., kuriuose kintamieji pažymėti skirtingai, nes optimizacija vyks šių skirtingų kintamųjų atžvilgiu, t. y. bus ieškoma minimali jų reikšmė. Čia išlaidų kitimo dinamika parodyta per pastaruosius šešerius metus. Grafikuose jie atitinkamai pažymėti skaičiais  $x_i = 1–6$  (2004–2009 m.). Šių išlaidų vidutinės metinės reikšmės apskaičiuotos iš bendrų metinių išlaidų, kurios nurodomos metinėse AB „Lietuvos geležinkeliai“ suvestinėse.



Metai (2004 - 2009)

3.2 pav. Išlaidų medžiagoms kitimo dinamika laiko atžvilgiu

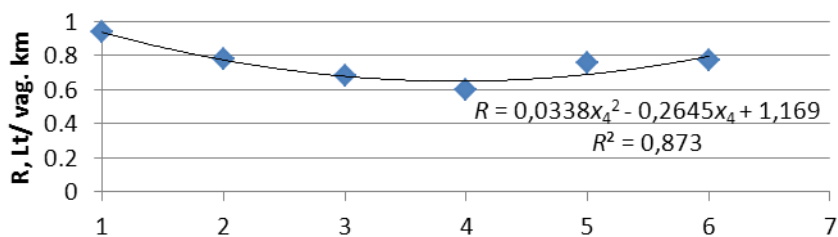
Fig. 3.2. Change of materials costs over time



Metai (2004 - 2009)

3.3 pav. Išlaidų degalams, tepalams kitimo dinamika laiko atžvilgiu

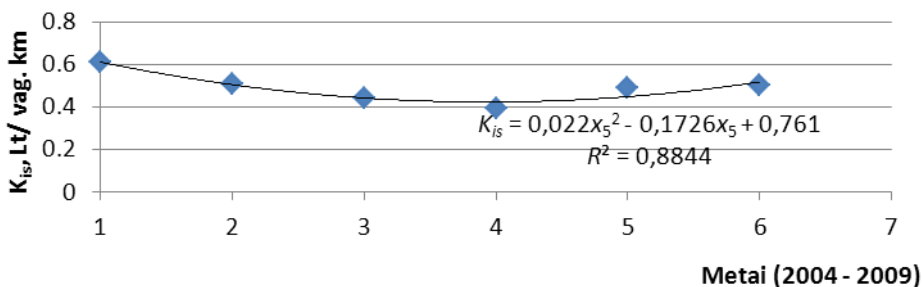
Fig. 3.3. Change of fuel and oil costs over time



Metai (2004 - 2009)

3.4 pav. Išlaidų remontui kitimo dinamika laiko atžvilgiu

Fig. 3.4. Change of repair costs over time



3.5 pav. Kitų išlaidų kitimo dinamika laiko atžvilgiu

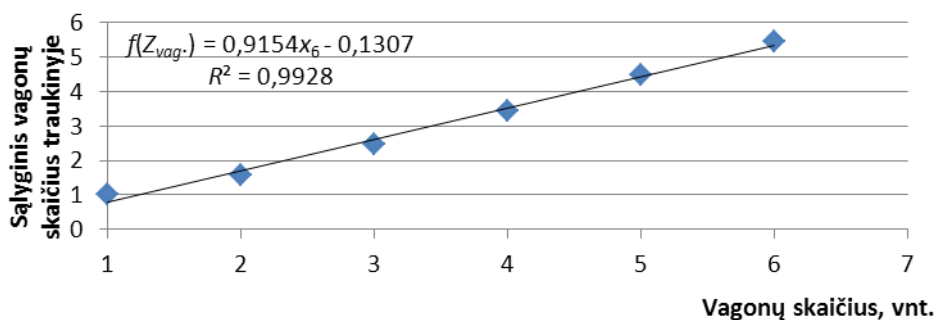
Fig. 3.5. Change of other costs over time

Iš 3.2–3.5 pav. pateiktų grafikų matyti, kad per pastaruosius šešerius metus kokybinis šių išlaidų kitimas atitinka to meto kintamas rinkos sąlygas ir degalų, tepalų, atsarginių dalių įsigijimo kainas, taip pat ir remontų atlikimo išlaidas. 2004–2007 m. matomas nedidelis šių išlaidų sumažėjimas, o vėliau nežymus didėjimas. Tam įtakos turėjo ne tik medžiagų kainų kitimas, bet ir kintama atskirų dedamųjų dalis, pvz., riedmenų nusidėvėjimas, naujų keleivių vežimo priemonių įsigijimas ir pan. Per nagrinėjamą laikotarpį atskirų išlaidų sudedamųjų dalių pokytis nuo maksimalių iki minimalių svyruoja apie 30 proc. Žinia, kad prognozuoti šių išlaidų pokytį ateityje sudėtinga, nes jos priklauso ne tik nuo riedmenų eksploatacinių charakteristikų pokyčio, bet ir nuo rinkos sąlygų. Tačiau minėtas funkcijas, kaip kokybinių rodiklių kitimą su pakankamu patikimumu, galima naudoti sudarytame modelyje išlaidoms prognozuoti perspektyvoje parenkant racionaliausią trauką ir sąstatus atskiruose ruožuose, nes visais atvejais nors ir kokios būtų ekonominės sąlygos, keleivinių riedmenų parkas bus naujinamas palaipsniui pagal sudarytą ir nuolat atnaujinamą planą.

Suprantama, kad formuojant sąstatus sąnaudos priklausys ir nuo vagonų skaičiaus. Mūsų atveju tai labai svarbu, nes modelis parinks minimalų vagonų skaičių, skirtą konkretaus ruožo keleiviams aptarnauti. Todėl būtina nustatyti, kaip išlaidų kaita priklauso nuo parinkto vagonų skaičiaus. Tokį priklausymą nusako sąlyginis vagonų skaičius, kurio reikšmė nustatoma pagal funkciją, parodytą 3.6 pav.

Ši funkcija, rodanti išlaidų padidėjimą didinant vagonų skaičių sąstate, tinka visoms traukoms. Ji didėja pagal linijinį priklausomumą.

Ne mažiau svarbu pagal galimybes Lietuvos geležinkelių tinkle parinkti ir tinkamiausią trauką. Pagal parko struktūrą ir galimą naudoti trauką šiuo metu (matyt, ir ateityje) bus naudojamos dvi traukos rūšys: elektrinė ir šiluminė.



3.6 pav. Sąlyginis vagonų skaičius  
Fig. 3.6. Conditional number of carriages

Pagrindinius ruožus, t. y. Kena–Klaipėda ir Kena–Kaliningradas, numatoma visiškai elektrifikuoti, nes tai yra tranzitiniai krovinių vežimo keliai, duodantys didžiausią ekonominę naudą, o kituose vietiniuose ruožuose bus naudojama trauka, kur pirminis energijos šaltinis yra šiluminis variklis. Tokiai traukai priskiriamos automotrisės, dyzeliniai traukiniai ir keleiviniai šilumvežiai (atskiras lokomotyvas). Pagal visus techninius ekonominius rodiklius ir ekologinius parametrus pati tinkamiausia yra elektrinė trauka. Todėl paėmus elektrinę trauką kaip pagrindą, t. y. kaip vienetą, visų kitų naudojimas gali būti išreikštas išlaidų padidėjimo koeficientu.

Šių koeficientų reikšmės pateiktos 3.3 lentelėje, o jų kitimo priklausymas – 3.5 pav.

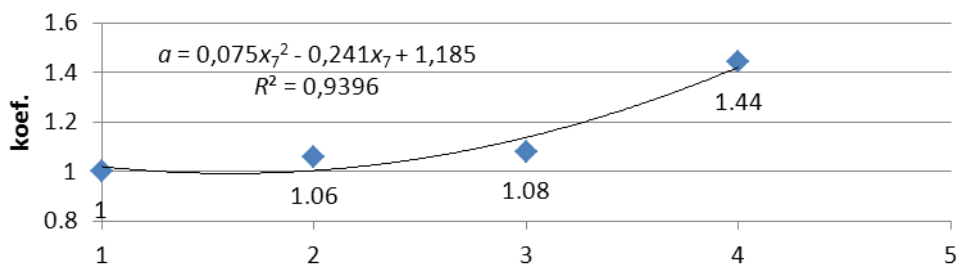
Iš pateiktų duomenų galima pastebėti vienos ar kitos naudojamos traukos ekonominį efektyvumą. Pvz., naudojant šiluminę trauką keleiviniams sąstatams, lyginant su elektrine, sąnaudos išauga beveik pusantro karto (1,44). Taigi traukos eiliškumą pagal ekonominį kriterijų ir nusako 3.3 lentelės turinys.

3.3 lentelė. Išlaidų padidėjimo koeficientų reikšmės pagal traukas

Table 3.3. Expenditure ratio values, depending on traction

Eil. Nr.	Trauka	Koeficientas
1	Elektrinė trauka	1
2	Automotrisė	1,06
3	Dyzelinė trauka	1,08
4	Šiluminė trauka (atskiras lokomotyvas)	1,44





3.7 pav. Traukos koeficientas

Fig. 3.7. Traction coefficient

Taigi sustačius 3.2–3.7 pav. matematines išraiškas į (3.1, 3.3), gaunama tokia pajamų, išlaidų ir jų skirtumo išraiška:

$$\Delta = P - I = \sum_{i=1}^m P - \sum_{j=1}^n I = \left\{ \begin{aligned} &k_{kp} \times P_i \times K(x_1) + k_{dot} (V \times L_{reis} \times I_m \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)) \\ &- k_k \times P_i \times K(x_1) - I_k + k_{komp} \times I_k \end{aligned} \right\} \times \frac{1}{L_{reis}} -$$

$$\left[ \left( \left( \frac{E_{kel}}{R_{kel}} + \frac{E_{kt}}{R} \right) \times \frac{R_1}{R_{kel}} + \left( \frac{I_{kel}}{A_{kel}} + \frac{I_{kt}}{A} \right) \frac{A_{kel}}{R_{kel}} + \frac{I_{kont}}{R_{kel}} \right) \right. \\ \left. \left\{ \begin{aligned} &D_{u\check{c}} + (0,0086x_2^2 - 0,0686x_2 + 0,29) + \\ &(0,0377x_3^2 - 0,2952x_3 + 1,285) \\ &+ N + (0,0338x_4^2 - 0,2645x_4 + 1,169) \\ &+ (0,022x_5^2 - 0,1726x_5 + 0,761) \end{aligned} \right\} \times (0,9154x_6 - 0,1307) \right] \times$$

$$(0,075x_7^2 - 0,241x_7 + 1,185) \quad (3.4)$$

Uždavinys (3.1)–(3.3) buvo išspręstas tiesiogiai (nekeičiant jų regresijos priklausomybėmis) taikant pagrindinius tikslo funkcijos kintamuosius  $M$ ,  $D$ ,  $R_k$ ,  $K_{i\check{s}}$ . Šių dviejų tikslo funkcijų optimizavimo rezultatai beveik sutapo, o tai rodo, kad optimizavimo uždavinys (3.4) gali būti taikomas prognozuojant būsimas reikšmes.

Šio modelio optimalių sprendinių paieškai pritaikomas matematinis optimizavimo metodas. Tuo tikslu analizuojami dažniausiai praktikoje taikomi metodai.

### 3.4. Optimizavimo metodų analizė

Dažnai tenka spręsti optimizavimo uždavinius, kai ieškomos kokios nors funkcijos optimalios (didžiausios arba mažiausios) reikšmės bet kurioje kintamųjų aibėje. Svarbiais ir sudėtingais atvejais stengiamasi uždavinį suformuluoti tiksliai ir jį spręsti tinkamais metodais. Optimizavimo (ekstremumo) uždavinius nagrinėja matematinės analizės nesąlyginio ir sąlyginio ekstremumo, funkcijos didžiausių ir mažiausių reikšmių radimas uždaroje srityje, taip pat speciali matematinė disciplina – sprendimo teorija ir metodai, vadinami matematinio programavimu (Čiočys, Jasilionis 1990; Žilinskas 1999). Šis terminas buvo pasirinktas todėl, kad sukurtieji metodai buvo skirti optimaliam ekonominių, transporto ir kitų sričių veiklos programų sudarymui. Matematinis programavimas susideda iš atskirų optimizavimo metodų: tiesinio, netiesinio programavimo, dinaminio bei stochastinio programavimo, taip pat matricinio lošimo teorijos ir daugiakriterinių metodų. Kiekvienas metodas turi savo privalumų ir trūkumų, todėl sprendžiant praktinius uždavinius konkretaus metodo pasirinkimas priklauso nuo taikomo optimalumo kriterijaus, nuo kintamųjų apribojimo pavidalo, sprendimą priimančio asmens kvalifikacijos ir vertinimo tikslo. Praktikoje optimizavimas gali prasidėti nuo paprasčiausių metodų taikymo ir surinkus papildomą informaciją, įgijus profesionalumo ir atitinkamas kompiuterines programas pereinama prie tobulesnių ir sudėtingesnių optimizavimo metodų.

Toliau trumpai aprašomi optimizavimo metodai, kuriuos galima pritaikyti sprendžiant šio darbo uždavinį.

Iš žinomų ir praktikoje taikomų optimizavimo metodų išsiskiria vadinamieji *daugiakriterinio optimizavimo metodai*. Daugiakriterinis optimizavimas tiesiogiai nepriklauso matematinio programavimo uždaviniams, tačiau yra nesudėtingas ir pastaruoju metu plačiai taikomas praktikoje. Daugiakriteriniai vertinimo metodai taikomi pasirenkant vieną geriausią alternatyvą iš kelių pasiūlytųjų, pavyzdžiui, geriausią projektą, technologiją, įmonę ir pan. (Ustinovičius, Zavadskas 2004; Zavadskas, Kaklauskas 1996).

Daugiakriterinių metodų pagrindą sudaro rodiklių  $R_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), apibūdinančių lyginamus objektus (alternatyva)  $A_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ), statistinių duomenų arba ekspertų vertinimų sprendimo priėmimo matrica  $R = \|r_{ij}\|$  ir rodiklių reikšmingumai (svoriai)  $\omega_i$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), čia  $m$  – rodiklių skaičius,  $n$  – lyginamų objektų (alternatyvų) skaičius. Vertinimo tikslas – taikant kiekybinius daugiakriterinius metodus, ranguoti lyginamus objektus  $A_j$  tyrimo tikslo atžvilgiu ir pasirinkti vieną ar keletą geriausių alternatyvų. Taikant kiekybinius daugiakriterinius vertinimo metodus nustatoma, kokio pavidalo – maksimizuojamojo arba minimizuojamojo – yra kiekvienas rodiklis. Geriausios

maksimizuojamųjų rodiklių reikšmės – didžiausios, minimizuojamųjų – geriausios reikšmės mažiausios. Kiekybinių daugiakriterinių metodų kriterijai dažniausia sujungia rodiklių bedimenses (normalizuotas) reikšmes  $\tilde{r}_{ij}$  ir rodiklių svorius  $\omega_i$ .

Rodiklių, apibūdinančių tiriamąjį objektą, nagrinėjamam tikslui įtaka nevie-noda, todėl nustatyti rodiklių reikšmingumą (svorius) yra labai svarbus etapas. Dažniausiai taikomas vadinamasis subjektyvusis vertinimas, kai rodiklių svorius nustato specialistai ekspertai, nors žinomi objektyvūs ir apibendrinti vertinimai.

Atskirų ekspertų nuomonės (vertinimai) dažnai nesutampa, o gali būti ir prieštaringi, t. y. skiriasi atskirų ekspertų vertinimų rodiklių svarbumas ir priori-tetiškumas. Vertinimai priklauso nuo ekspertų kvalifikacijos, darbo specifikos, susidomėjimo rezultatais, darbo stažo ir pan. Specialistų nuomonės apie santyki-nį rodiklių svarbumą ir prioritetiškumą paprastai skiriasi, todėl rodiklių svorius kaip apibendrintus ekspertų nuomonių vidurkius, galima taikyti daugiakriteri-niam vertinimui, jei nustatytas ekspertų vertinimų neprieštarinumas, t. y. įrody-ta, kad nuomonės yra statistiškai suderintos (Podvezko 2005).

Teorijoje ir praktikoje žinomi keli ekspertų rodiklių svarumo vertinimo bū-dai: rodiklių rangavimas, tiesioginis svorių vertinimas procentais arba vieneto dalimis, netiesioginiai vertinimai, rodiklių porinio lyginimo metodai

Pasaulyje žinoma ir taikoma daug skirtingų daugiakriterinių metodų – SAW, TOPSIS, COPRAS, VIKOR, PROMETHEE, ELECTRE ir kt. (Ustinovičius, Zavadskas 2004; Zavadskas, Kaklauskas 1996).

Kiekvienas daugiakriterinis metodas turi savo privalumą, ypatumą. Praktiškai ne vieną metodą negalima pritaikyti formaliai, iš karto. Dauguma metodų naudoja skirtingą specifinę pradinių duomenų normalizaciją arba duomenų transformaciją. Dažniausiai kiekybiniai daugiakriteriniai metodai sujungia į vie-ną dydį metodo vertinimo kriterijaus rodiklių normalizuotas (bedimenses) reikšmes ir rodiklių svorius. Didžiausia (arba mažiausia) metodo kriterijaus reikšmė ir nustato geriausią alternatyvą.

Kaip pavyzdį galima paminėti SAW (angl. *Simple Additive Weighting*) me-todą – tipinį, žinomiausią ir dažniausiai praktikoje taikomą metodą. Metodo kri-terijus  $S_j$  tiksliai atspindi kiekybinių daugiakriterinių metodų idėją – rodiklių reikšmių ir jų svorių sujungimą į vieną dydį – metodo kriterijų.

Skačiuojama visų rodiklių pasvertų normalizuotų reikšmių suma  $S_j$  kiekvienam  $j$ -ajam objektui (alternatyvai). Ji nustatoma pagal formulę:

$$S_j = \sum_{i=1}^m \omega_i \tilde{r}_{ij}, \quad (3.5)$$

čia:  $\omega_i$  –  $i$ -tojo rodiklio (kriterijaus) svoris;  $\tilde{r}_{ij}$  –  $i$ -tojo rodiklio normalizuota reikšmė  $j$ -ajam objektui.

*SAW* metodas taiko duomenų normalizaciją:

$$\tilde{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, \quad (3.6)$$

$$\left( \sum_{j=1}^n \tilde{r}_{ij} = 1 \right).$$

Geriausią variantą atitinka didžiausia kriterijaus  $S_j$  reikšmė. Lyginamuosius variantus reikia išdėstyti (ranguoti) mažėjančia tvarka.

Visi kriterijai (rodikliai) turi būti maksimizuojamieji, t. y. geriausia rodiklio reikšmė – didžiausia: tik tada turi prasmę rodiklių reikšmių su svoriais sujungimas į vieną dydį  $S_j$ .

Mūsų uždaviniui daugiakriterinio optimizavimo metodą galimą būtų taikyti, jei matematiškai sprendžiama problema būtų užrašyta kitaip, t. y. būtų pasiūlytas kriterijų (rodiklių), charakterizuojančių optimizavimo uždavinį, sąrašas, nustatytų kriterijų reikšmingumas (svoriai) ir iš kelių galimų veiklos alternatyvų, pvz., pervežimo projektų variantų, reikėtų pasirinkti geriausią.

*Kelių kintamųjų funkcijų nesąlyginis ekstremumas.* Nagrinėjama kelių kintamųjų funkcija (tikslų funkcija)  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Reikia rasti šios funkcijos lokalųjį ekstremumą, t. y. maksimumo arba minimumo taškus, ir suskaiciuoti funkcijos reikšmes šiuose taškuose. Žinoma (Pekarskas 1996; Žilinskas 1999), kad jei taškas  $M(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$  yra funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ekstremumas, tai šitame taške funkcijos dalinės išvestinės lygios nuliui, t. y.

$$\begin{cases} \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} = 0, \\ \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} = 0. \end{cases} \quad (3.7)$$

Sistema (3.7) praktiniuose uždaviniuose būna netiesinė ir gali būti išspręsta taikant kompiuterines programas. Tai būtina ekstremumo sąlyga. Nesąlyginio lokaliojo ekstremumo teorija sudaro pagrindą ir kituose optimizavimo uždaviniuose, yra toliau nagrinėjamų optimizavimo metodų sudedamoji dalis.

*Kelių kintamųjų funkcijų sąlyginis ekstremumas.* Sąlyginio ekstremumo matematinis uždavinys formuluojamas taip. Tarkime, reikia rasti funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ekstremumus, kai kintamieji susieti tam tikra lygtimi:

$$\varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (3.8)$$

Ši lygtis vadinama ryšio lygtimi, o funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ekstremumai, kurie tenkina šią lygtį, vadinami sąlyginiais. Geometriškai lygtis (3.6) apibrėžia kintamųjų  $x_1, x_2, \dots, x_n$  erdvėje kreivę  $L$  (nebūtinai uždara). Tokiu atveju funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ekstremumas ieškomas ne visuose kintamųjų erdvėje, bet kreivės (3.6) taškuose.

Norint rasti sąlyginius ekstremumus, sudaroma Lagranžo funkcija:  $L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \lambda \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , čia  $\lambda$  – Lagranžo daugiklis.

Kaip ir nesąlyginio lokaliojo ekstremumo atveju, jei taškas  $M(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$  yra funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  lokaliojo sąlyginio ekstremumo taškas, tai egzistuoja toks realusis skaičius  $\lambda_0$ , kad

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda)}{\partial x_1} = \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} + \lambda \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1} = 0, \\ \frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda)}{\partial x_2} = \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} + \lambda \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_2} = 0, \\ \dots \\ \frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda)}{\partial x_n} = \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} + \lambda \frac{\partial \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} = 0, \\ \frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda)}{\partial \lambda} = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \end{array} \right. \quad (3.9)$$

Dėl to, kad (3.8) kreivė gali būti neuždara, sprendžiant praktinius uždavinius prie šios sąlygos papildomai taikomi kintamųjų apribojimai. Šiuo atveju tai bus didžiausiosios ir mažiausiosios kelių kintamųjų funkcijų reikšmės radimas uždaroje srityje. Toks uždavinys sprendžiamas taikant gradiento metodus.

*Didžiausiosios ir mažiausiosios kelių kintamųjų funkcijų reikšmės radimas uždaroje srityje.* Tai dažniausiai praktikoje sprendžiamas uždavinys. Nagrinėjama kelių kintamųjų funkcija  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Reikia apskaičiuoti šios funkcijos didžiausiąją ir mažiausiąją reikšmes srityje  $D$ , apribotoje uždaroja kreive  $L$ . Taškai, kuriuose funkcija  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  įgyja didžiausiąją ir mažiausiąją reikšmes, yra vidiniai srities  $D$  taškai arba kreivės  $L$  taškai.

Norint rasti funkcijos  $z = f(x, y)$  mažiausiąją ir didžiausiąją reikšmes, reikia (Pekarskas 1996; Žilinskas 1999):

1. Rasti funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  stacionariusius taškus, priklausančius sričiai  $D$ , ir apskaičiuoti funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  reikšmes šiuose taškuose.
2. Rasti kreivės  $L$  taškus, kuriuose funkcija įgyja sąlyginius ekstremumus ir apskaičiuoti funkcijos  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  reikšmes šiuose taškuose.
3. Iš visų gautų funkcijos reikšmių išrinkti didžiausiąją ir mažiausiąją reikšmę.

Šis uždavinys lengvai sprendžiamas ir dažnai taikomas praktikoje, kai sritis  $D$  yra stačiakampis gretasienis kintamųjų  $x_1, x_2, \dots, x_n$  erdvėje, t. y. kiekvienas iš kintamųjų  $x_i$  kinta atitinkamose atkarpose  $[x_{i(\min)}, x_{i(\max)}]$ . Šiame darbe bus ieškomas netiesinės tikslo funkcijos ekstremumas su tiesiniais kintamųjų apribojimais.

*Tiesinis programavimas.* Tiesinis programavimas yra paprasčiausias ir dažniausiai praktikoje taikomas matematinio programavimo uždavinys, kai ir tikslo funkcija ir kintamųjų apribojimai yra tiesinės funkcijos kintamųjų atžvilgiu, nes daugelis praktikoje kylančių uždavinių yra tiesiniai.

Tiesinio programavimo matematinis uždavinys formuluojamas taip (Čiočys, Jasilionis 1990; Žilinskas 1999):

Tarkime, reikia rasti tiesinės funkcijos

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (3.10)$$

minimumą, kai yra šios sąlygos:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m \end{cases}, \quad (3.11)$$

$$x_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n.$$

Uždavinys gali būti užrašytas kompaktiškai, rasti:

$$\min \sum_{j=1}^n c_j x_j, \quad (3.12)$$

kai yra šios sąlygos:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i \quad (i=1, 2, \dots, m),$$

$$x_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n.$$

Kintamųjų  $x_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) reikšmės, tenkinančios apribojimų sistemą, vadinamos tiesinio programavimo uždavinio leistinuoju sprendiniu.

Tiesinio programavimo uždavinys gali būti suformuluotas, maksimizuojant tikslo funkciją (pvz., pelną), rasti:

$$\max \sum_{j=1}^n c_j x_j, \quad (3.13)$$

kai yra šios sąlygos

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad (i=1, 2, \dots, m),$$

$$x_j \geq 0, j=1, 2, \dots, n.$$

Tiesinio programavimo uždavinį galima išspręsti, taikant bendrųjų matematinio programavimo, vadinamojo netiesinio programavimo, metodus, tačiau lengviau pritaikyti specialius metodus, sukurtus tiesiniam programavimui, pvz., *Simpleks* metodą. Mūsų atveju galima taikyti tiesinio programavimo metodą, kai uždavinio tikslo funkcija yra tiesinė kintamųjų atžvilgiu. Tai būtų supaprastintas mūsų uždavinio variantas.

*Netiesinis programavimas.* Kai praktinis optimizavimo uždavinys, kaip ir mūsų atveju, yra sudėtingesnis, ne visada tikslo funkciją ir kintamųjų apribojimų lygtis galima aprašyti tiesinėmis lygtimis. Jei bent viena iš uždavinio srities apribojimo funkcijų yra netiesinė, toks optimizavimo uždavinys vadinamas netiesinio programavimo uždaviniu.

Netiesinio programavimo matematinis uždavinys formuluojamas taip.

Rasti tikslo funkcijos  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  minimumą, t. y.:

$$\min f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.14)$$

leistinoje srityje, apibrėžtoje funkcijų  $g_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  nelygybės arba lygybės nuliui reikalavimais, t. y.:

$$\begin{aligned} g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq 0, \quad i=1, 2, \dots, k, \\ g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) &= 0, \quad i=k+1, k+2, \dots, m. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Netiesinio programavimo uždavinys dažniausiai sprendžiami gradientiniu nusileidimo metodu, taikant būtiną ekstremumo sąlygą, t. y. jei taškas  $M(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$  yra funkcijos  $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  ekstremumo taškas, tai jame funkcijos gradientas lygus nuliui. Kaip žinoma, funkcijos gradientas yra vektorius iš jos dalinių išvestinių, t. y.:

$$\text{grad } f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left( \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_n} \right). \quad (3.16)$$

Nusileidimo metodai yra iteraciniai. Pradedama nuo vartotojo parinkto taško  $X_0 = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$  generuojama taškų seka  $X_{i+1} = X_i + \gamma_i S_i$ , čia  $S_i$  yra gradiento (tiksliau, antigradiento) krypties (dažniausiai vienetinio ilgio) vektorius,  $\gamma_i$  iteracijos žingsnio gana mažas daugiklis artėjant prie minimumo taško, žingsnio ilgis trumpėja.

Norint taikyti gradientinio nusileidimo metodą reikia aukšto vartotojų parengimo lygio ir taikymo atsargumo, net rastas taškas gali būti lokalojo (ne globaliojo) minimumo bei balno taškas ir rezultatas priklauso nuo pradinio pasirinkto taško  $M(\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_n)$ .

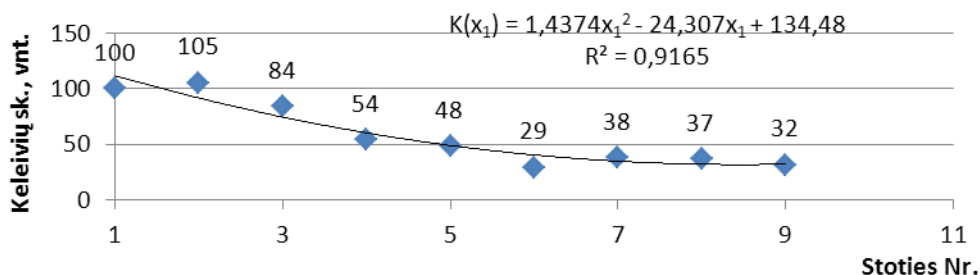
Kadangi darbe pristatoma tikslo funkcija yra netiesinė ir jos paskirtis – minimizuoti kintamųjų (išlaidų) reikšmes, sprendinių paieškai bus taikomas šis metodas. Tam tikslui buvo pasirinkta programos MATLAB (angl. *Matrix Laboratory*) terpės paprogramė „fmincon“, skirta mažiausiųjų reikšmių paieškai sprendžiant netiesines lygtis su daugeliu kintamųjų ir apribojimais (priedas).



### 3.5. Matematinio modelio praktinis taikymas

Toliau nagrinėjami trys būdingi keleivinių traukinių maršrutai, kuriems sudarytu modeliu bus parinkti racionaliausi riedmenų deriniai.

**Reisas Klaipėda–Vilnius.** Iš surinktų statistinių duomenų (3.2 lentelė) matyti, kad reiso pradžioje keleivių skaičius šiek tiek viršija 100, o nuo pusiaukelės (Radviliškio) sumažėja beveik per pusę. Grafinė pokyčio interpretacija pavaizduota 3.8 pav.



3.8 pav. Keleivių srauto pokytis reise Klaipėda–Vilnius  
Fig. 3.8. Change of passenger flow at the route Klaipėda–Vilnius

Čia ant abscisių ašies atidėtos stočių lokalizacijos vietos reise nuo 1 iki 9, kad būtų patogiau naudoti jas matematiname modelyje, nustatant esamą keleivių skaičių traukinyje. Šios regresijos lygtys (3.2 lentelė) sudarytos remiantis pastarųjų šešerių metų statistika. Visuose vietiniuose maršrutuose matomos keleivių skaičiaus mažėjimo tendencijos, tačiau per pastaruosius 2–3 metus (2.12 pav.) jis praktiškai stabilizuojasi ir vietiniais maršrutais pervežama apie 4,1 mln. keleivių. Tiesa, 2009 m. šis skaičius sumažėjo iki 3,6 mln., bet tam turėjo įtakos visuotinis ekonominis nuosmukis. Viena pagrindinių priežasčių, mažinant keleivių vežimo geležinkeliais nuostolius, yra mažas keleivių skaičius, nuo kurio priklauso gaunamų pajamų dydis. Todėl visais galimais būdais privalu didinti keliaujančiųjų skaičių geležinkeliais. Sunku tikėtis didelio gyventojų prieaugio netolimoje perspektyvoje, tačiau nemažą keleivių skaičių, taikant komforto gerinimo priemones, galima prisivilioti iš kitų transporto rūšių, pirmiausia iš automobilių transporto. Tai aprašyta ketvirtajame šio darbo skyriuje.

Sudarytos regresijos lygtys keleivių skaičiui prognozuoti maršrutuose turi išliekamąją vertę tuo požiūriu, kad jeigu maršrutuose neįvyks didelių pokyčių, pvz., neatsiras naujų traukos centrų, gamyklų, miestų ir pan., tai keleivių skaičius didės arba mažės visur maždaug tolygiai. Tam tikslui modelyje numatytas keleivių kaitos (proporcingumo) koeficientas  $k_p$ .

Iš pateiktų duomenų matyti, kad maršruto pradžioje sąstatą turi sudaryti ne mažiau kaip du vagonai, o pusiaukelėje tikslinga vieną vagoną atkabinti. 3.4 lentelėje pateiktos suminis pelnas (nuostoliai) tarpstočiuose, apskaičiuotas naujai sudarytu modeliu.

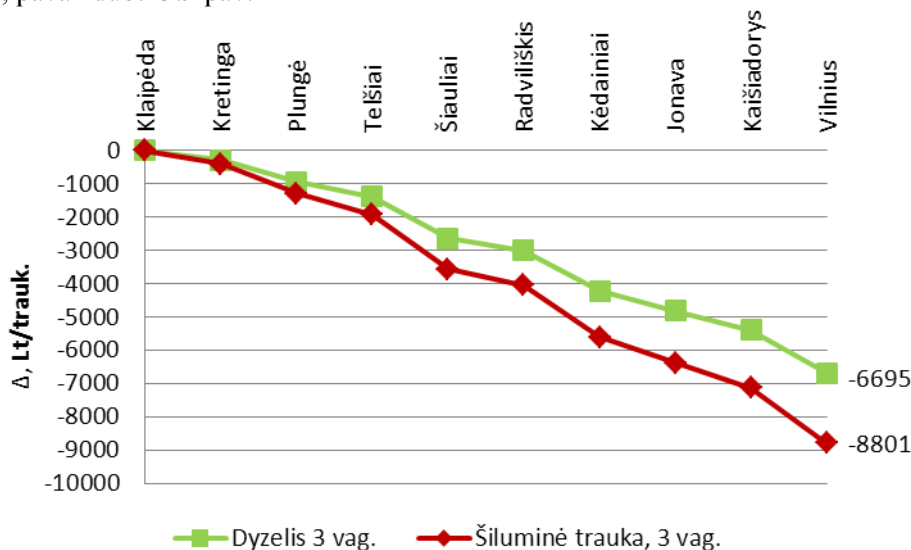
**3.4 lentelė.** Tarpstočio pelnas (nuostoliai), apskaičiuotas sudarytu modeliu, Lt

**Table 3.4.** Mid-station profit (loss), calculated on the basis of the drafted model, in LTL

Eil. Nr.	Stotis	Elektrinė trauka, vienas vagonas	Motrisė	Dvi motrisės	Dyzelis, vienas vagonas	Dyzelis, du vagonai	Šiluminė trauka, vienas vagonas	Šiluminė trauka, du vagonai	Dyzelis, trys vagonai	Šiluminė, trys vagonai
1	Klaipėda	–	–	0	–	0	–	0	0	0
2	Kretinga	–	–	3,52	–	–22,66	–	–78,32	–294,36	–417,56
3	Plungė	–	–	–61,84	–	–139,19	–	–303,21	–941,08	–1305,08
4	Telšiai	–	–	–144,16	–	–254,83	–	–489,41	–1402,24	–1923,04
5	Šiauliai	–	–431,71	–431,71	–626,87	–626,87	–1040,37	–1040,37	–2649,00	–3567,40
6	Radviliškis	–	–394,71	–530,11	–595,47	–749,27	–1021,17	–1212,97	–3018,20	–4048,60
7	Kėdainiai	–	–310,87	–878,91	–530,19	–1162,71	–994,93	–1799,21	–4231,64	–5620,44
8	Jonava	–	–278,94	–1056,54	–507,25	–1377,23	–990,59	–2091,85	–4828,70	–6391,10
9	Kaišiadorys	–248,94	–248,94	–1229,34	–485,95	–1585,73	–987,29	–2375,95	–5407,40	–7137,80
10	Vilnius	–177,92	–178,59	–1611,91	–435,03	–2048,03	–976,57	–3006,42	–6695,14	–8800,74

Nagrinėjant 3.4 lentelėje pateiktus duomenis, matyti, kaip galima mažinti nuostolius parenkant trauką ir vagonų skaičių. Šis maršrutas ypatingas tuo, kad pagal dabar esamą padėtį galima naudoti šiluminę ir elektrinę traukas – nuo Klaipėdos iki Kaišiadorių šiluminę, o nuo Kaišiadorių iki Vilniaus – elektrinę. Modelis rodo minėtas galimybes. Iš pateiktų duomenų matyti, kad naudingiausia būtų pradėti kelionę dviejų automotrisių deriniu iki Šiaulių, toliau tęsti kelionę viena automotrise iki Kaišiadorių, o nuo čia iki Vilniaus naudoti elektrinę trauką, t. y. sodinti keleivius į kursuojantį elektrinį traukinį Vilnius–Kaunas. Tokiu atveju galutiniai reiso nuostoliai sudarytų tik 178 Lt, naudojant vieną automotrisę nuo Šiaulių iki Vilniaus, nuostoliai būtų panašūs, naudojant dvi motrises visame ruože, nuostoliai padidėtų iki 1612 Lt, o nuo Šiaulių persėdus į dyzelinį traukinį su vienu vagonu, nuostoliai siektų 435 Lt, atskiru šilumvežiu traukiamas keleivinis vagonas atsietų 977 Lt. Visi kiti variantai yra gerokai nuostolingesni. Šiuo metu esančiai infrastruktūrai ir keleivinių riedmenų parkui būtų tikslinga naudoti dviejų automotrisių derinį, vieną atkabinant nuo Šiaulių stoties.

Pastaruoju metu šiame ruože kursuoja trijų vagonų traukinių sąstatai su šilumine ir dyzeline trauka. Nuostoliai, atsirandantys eksploatuojant tokius sąstatus, pavaizduoti 3.9 pav.

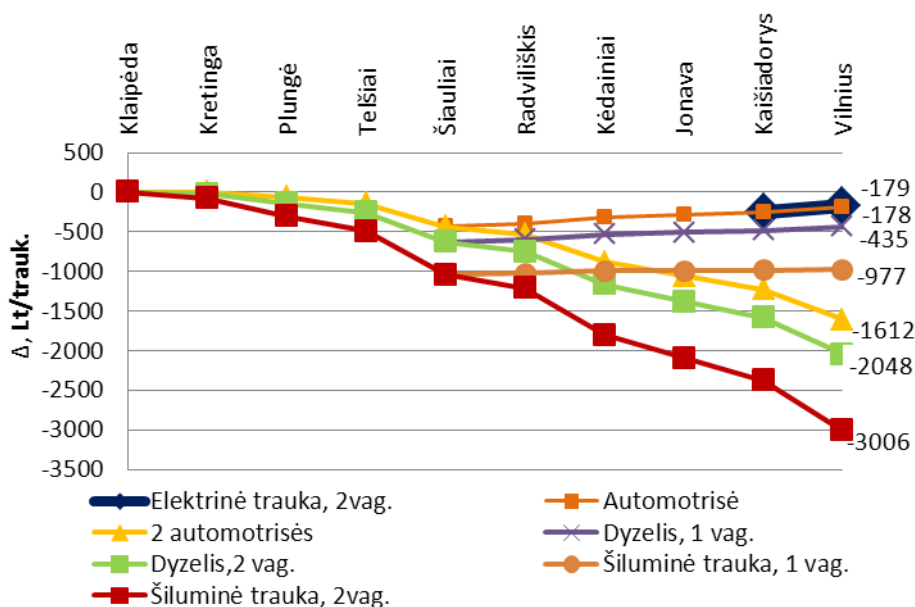


**3.9 pav.** Nuostolių apskaičiavimas sudarytu modeliu reise Klaipėda–Vilnius, Lt/trauk.

**Fig. 3.9.** Calculation of losses on the basis of a drafted model for the route Klaipėda–Vilnius, LTL/train

Iš duomenų, pateiktų 3.4 lentelėje ir 3.9 pav., nesunku nustatyti, kad naudojant automotrisių trauką ir atkabinant vieną automotrisę Šiauliuose nuostolius dabar naudojamai dyzelinei traukai galima sumažinti iki 37 kartų, o šiluminei – iki 49. Jeigu leistume dvi automotrisės neatkabindami jų Šiaulių stotyje, tai nuostoliai sumažėtų atitinkamai 4,2 ir 5,5 karto. Šis pavyzdys labai aiškiai iliustruoja keleivių vežimo priemonių naudojimo lankstumą, varijuojant sąstatų sudėtimi ir trauka, kai iki minimumo sumažinamas neužimtų vietų skaičius ir pasinaudojama organizacinėmis galimybėmis (t. y. vagonų prikabinimas ir atkabinimas tarpstočiuose, keleivių persodinimas į kitas priemones, naudojant stovimas vietas ir t. t.) formuojant atitinkamus racionalius sąstatus (keičiant jų sudėtį ir trauką) maršruto viduje.

3.10 pav. pateikta grafinė interpretacija visų galimų sąstatų derinių Klaipėda–Vilnius reise pagal 3.4 lentelės duomenis. Matyti, kad ir kokie sąstatų ir traukų deriniai būtų imami, visi yra mažiau nuostolingi, lyginant su dabar eksploatuojamais.



**3.10 pav.** Galimi deriniai ir pajamų (nuostolių) apskaičiavimas sudarytu modelių reise Klaipėda–Vilnius, Lt/trauk.

**Fig. 3.10.** Possible combinations and calculation of incomes (losses) on the made up model for the route Klaipėda–Vilnius, LTL/train

Detaliai atskleisto modelio privalumas tas, kad galima varijuoti pajamų ir išlaidų sudedamosiomis dalimis, išryškinti silpniausias vietas (t. y. kur patiriama didžiausių nuostolių ir kur juos galima mažinti) ir tiksliai bei kryptingai prognozuoti techninius, organizacinius bei ekonominius keleivinio parko parametrus, nuosekliai įgyvendinti pirmojo būtinumo priemones, pvz., naujos technikos įsigijimą, keleivinių vagonų atkabinimo ir prikabinimo vietas, atitinkamus techninės priežiūros postus, eismo grafikų suderinamumą ir pan. 3.5 lentelėje pateikti duomenys rodo, kaip pakeičiant atskirus parametrus galima mažinti nuostolius reise Klaipėda–Vilnius nekeičiant dabartinės padėties, t. y. važiuojant trijų vagonų sąstatu su dyzeline trauka.

Atlikus pajamų didinimo galimybių analizę maršute pagal esamą padėtį važiuojant trimis vagonams dyzeline trauka, t. y. nedidinant keleivių skaičiaus reise (pagrindinių pajamų šaltinį) ir nekeičiant vagonų skaičiaus, norint nepatirti šio reiso nuostolių ( $\Delta = 0$ ), reikėtų varijuoti kitais komponentais, kaip parodyta 3.5 lentelėje. Tam tikslui reikia padidinti 1 kel. km įkainį 28 proc., gaunamas kompensacijas – 70 proc. ir sumažinti rinkliavą už naudojimąsi viešąja infrastruktūra 30 proc.

3.6 lentelėje pateikti duomenys, kai visi kiti išlaidų duomenys paliekami to-  
kie, kokie yra šiuo metu, didinamas tik keleivių, o kartu ir parduotų bilietų skai-  
čius. Lentelės duomenys aiškiai rodo, kad reiso Klaipėda–Vilnius nuostolių riba  
būtų peržengta tik patrigubinus parduodamų bilietų skaičių arba, kas adekvatu,  
didinant parduodamų bilietų kainą trigubai. Tokiu būdu šis matematinis modelis  
leidžia ieškoti optimalių variantų kiekviename reise varijuojant įvairiais išlaidų  
ir pajamų kriterijais, atsižvelgiant į esamą geležinkelių tinklo padėtį.

**3.5 lentelė.** Reiso Klaipėda–Vilnius pajamų didinimo (nuostolių mažinimo) galimybių  
analizė važiuojant trimis vagonais dyzeline trauka

**Table 3.5.** Income increase (loss reduction) options analysis using 3 carriages  
combination with diesel traction at the route Klaipėda–Vilnius

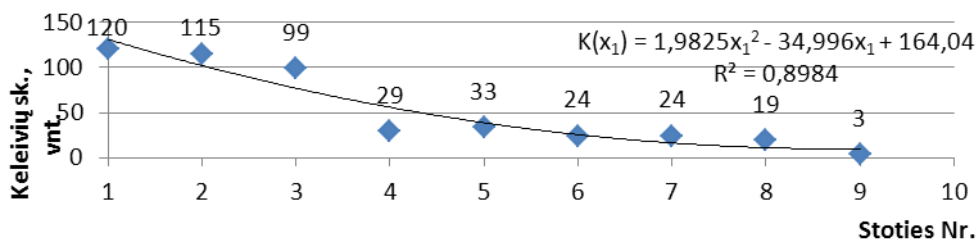
Sudedamoji dalis	Reikšmių pokytis, proc.
1 kel. km įkainis	+28
Dotacija, kompensacija	+70
Mokestis už naudojimąsi viešąja geležinkelių infrast- ruktūra (rinkliava)	–30
$\Delta$	0

**3.6 lentelė.** Reiso Klaipėda–Vilnius pelnas (nuostoliai) vienam vag. km priklausomai  
nuo keleivių skaičiaus

**Table 3.6.** Profit (loss) per 1 train/km on the basis of passengers number at the route  
Klaipėda–Vilnius

Keleivių skaičiaus padidėjimas, kartais	Vidutinės 1 trauk. km pelnas (nuostoliai), Lt
1,00	–17,52
1,50	–10,52
2,00	–6,52
2,50	–2,50
3,00	1,49

**Reiso Vilnius–Šeštokai analizė.** Šiam reisui būdinga tai, kad vagonų užpil-  
dymas, t. y. keleivių skaičius, krinta pagal dėsnį, pavaizduotą 3.11 pav. Matyti,  
kad galinėje stotelėje (Šeštokuose) išlipa tik 3 arba 1 keleivis. Pradedant nuo  
Kauno (4 stotis) nuostoliai reise labai didėja. Tačiau jeigu būtų naudojama elekt-  
rinė trauka iki Kauno (elektrifikuotas ruožas), o nuo Kauno imtų kursuoti auto-  
motrisė, nuostoliai sumažėtų iki 10–15 kartų (3.7 lentelė).



**3.11 pav.** Keleivių srauto pokytis reise Vilnius–Šeštokai  
**Fig. 3.11.** Change of passenger flow at the route Vilnius–Šeštokai

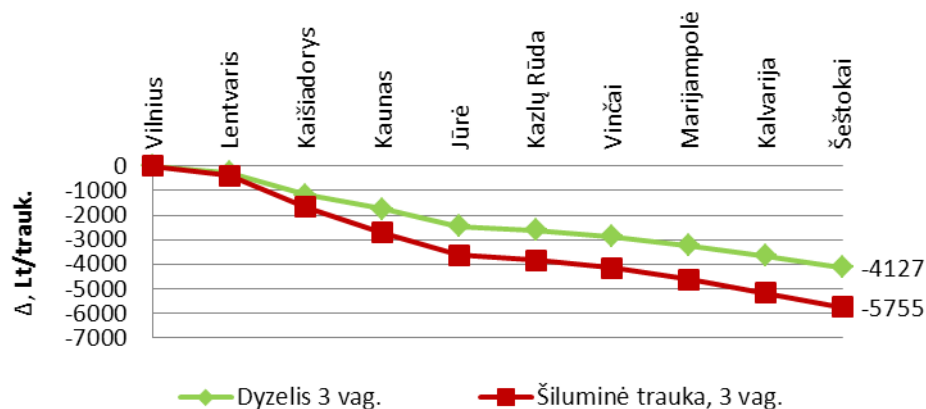
**3.7 lentelė.** Tarpstočio pelnas (nuostoliai), apskaičiuotas sudarytu modeliu, Lt

**Table 3.7.** Mid-station profit (loss), calculated on the basis of the drafted model, in LTL

Eil. Nr.	Stotis	Elektrinė trauka, vienas vag.	Motrisė	Dvi motrisės	Dyzelis, vienas vagonas	Dyzelis, du vagonai	Šiluminė trauka, vienas vag.	Šiluminė trauka, du vagonai	Dyzelis, trys vagonai	Šiluminė trauka, trys vagonai
1	Vilnius	0	–	0	–	0	–	0	0	0
2	Lentvaris	2 4 , 7 2	–	2 1 , 1 2	–	– 5 , 4 5	–	– 6 9 , 4 0	–259,18	–386,50
3	Kaišiadorys	–93,56	–	–107,25	–	–208,24	–	–451,31	–1171,90	–1655,66
4	Kaunas	–287,00	–287,00	–308,27	–465,16	–465,16	–842,76	–842,76	–1747,65	–2713,66
5	Jūrė	–	–253,59	–535,36	–448,41	–743,72	–861,33	–1230,40	–2458,64	–3641,75
6	Kazlų Rūda	–	–255,57	–592,57	–453,90	–811,82	–874,26	–1321,58	–2618,58	–3847,71
7	Vinčai	–	–272,48	–691,31	–476,03	–926,71	–907,44	–1470,70	–2869,47	–4166,79
8	Marijampolė	–	–307,62	–843,77	–518,59	–1102,27	–965,96	–1695,40	–3239,92	–4634,95
9	Kalvarija	–	–351,14	–1022,33	–570,75	–1307,55	–1036,52	–1957,16	–3669,52	–5177,03
10	Šeštokai	–	–397,55	–1212,56	–626,34	–1526,34	–1111,66	–2236,13	–4127,33	–5754,69

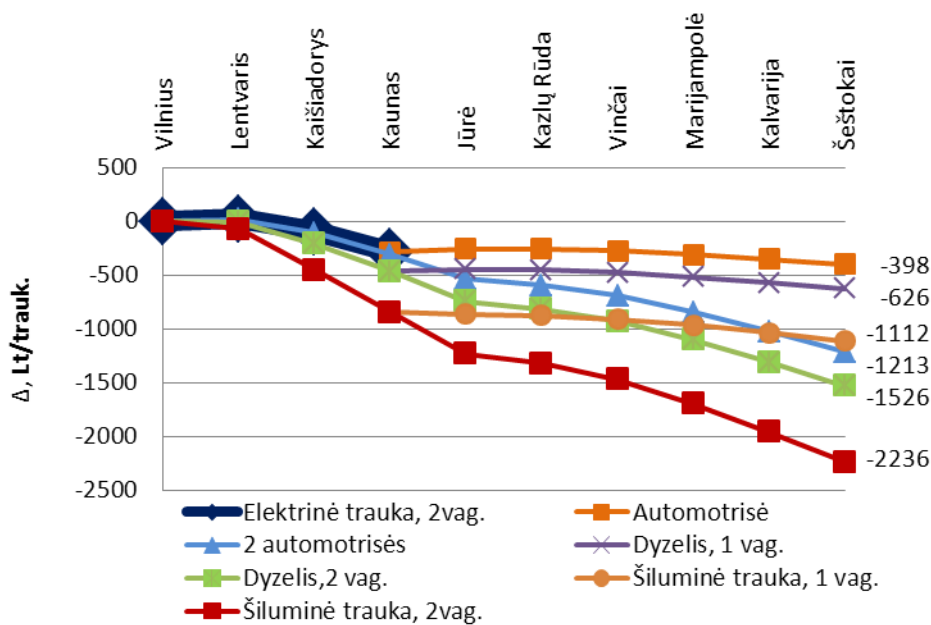
Iš pateiktos lentelės matyti, kad visų variantų rezultatai yra neigiami. Tačiau mažiausiai nuostolių duotų dvi automotrisės iš Vilniaus, vieną iš jų atkabinant Kaune, arba du dyzeliniai vagonai, iš kurių vieną taip pat atkabinant Kaune ( $\Delta = -626$  Lt).

Tačiau visais atvejais optimizavus šį maršrutą pagal vagonų skaičių ir trauką pasiekiamas pranašumas prieš dabar esamą padėtį (3.12 pav.). Jeigu, pavyzdžiui, būtų leista šiuo maršrutu kursuoti dviejų vagonų dyzeliniam traukiniui, tai būtų 2,7 karto mažesni nuostoliai.



3.12 pav. Reiso Vilnius – Šeštokai nuostolių apskaičiavimas sudarytu modeliu, Lt/trauk.

Fig. 3.12. Calculation of losses on the basis of a drafted model for the route Vilnius – Šeštokai, LTL/train



3.13 pav. Reiso Vilnius–Šeštokai galimi deriniai ir pajamų (nuostolių) apskaičiavimas sudarytu modeliu, Lt/trauk.

Fig. 3.13. Possible combinations and calculation of incomes (losses) on the made up model for the route Vilnius–Šeštokai, LTL/train

3.13 pav. pavaizduotos visų galimų variantų pagal sąstato ilgį ir trauką ekonominiai rodikliai. Aiškiai matyti, kad keičiant trauką ir sąstatų ilgį gaunamas didelis ekonominis efektas. Pavyzdžiui, atkabinus Kaune vieną dyzelinį vagoną išlaidos sumažėja apie 6,6 karto. Tas pats būtų ir su šilumine trauka (šilumvežis plius du vagonai). Atkabinus vieną Kaune, išlaidos sumažėja apie 5 kartus. Tačiau ši trauka yra pati brangiausia, todėl jos ir nerekomenduotina naudoti nagrinėjamam reisui.

Remiantis keleivių srautų didėjimo prognoze, 3.8 lentelėje pateikti galimi nuostolių (pajamų) rezultatai, važiuojant reisu Vilnius–Šeštokai trimis vagonais dyzeline trauka. Iš 3.8 lentelės duomenų matyti, kad analizuojant reiso Vilnius–Šeštokai padėtį, jeigu nekeičiama trauka ir sąstatų ilgiai, norint gauti tarp pajamų ir išlaidų nulinį balansą ( $\Delta = 0$ ), reikėtų rinkliavas už viešąją geležinkelių infrastruktūrą mažinti 20 proc., dotacijas (kompensacijas) didinti 70 proc., paliekant tą patį 1 kel. km įkainį.

**3.8 lentelė.** Reiso Vilnius–Šeštokai pajamų didinimo (nuostolių mažinimo) galimybių analizė važiuojant trimis vagonais dyzeline trauka

**Table 3.8.** Income increase (loss reduction) options analysis using 3 carriages combination with diesel traction at the route Vilnius–Šeštokai

Sudedamoji dalis	Reikšmių pokytis, %
1 kel. km įkainis	0
Dotacija, kompensacija	+70
Mokestis už naudojamą viešąją geležinkelių infrastruktūrą (rinkliava)	-20
$\Delta$	0

Kokie būtų gauti rezultatai padidinus keleivių (parduodamų bilietų) skaičių, parodyta 3.9 lentelėje. Matyti, kad nuostolių riba būtų peržengta padidinus keleivių skaičių daugiau kaip 2,5 karto.

Taigi visais atvejais matyti, kad geriausia išeitis – rasti techninių galimybių Kauno stotyje keisti sąstatų ilgius bei trauką. Sąstatų ir traukų deriniai turėtų būti pagrindinė kryptis vežant keleivius šiuo maršrutu.

**3.9 lentelė.** Reiso Vilnius–Šeštokai pelnas (nuostoliai) 1 vag. km priklausomai nuo keleivių skaičiaus

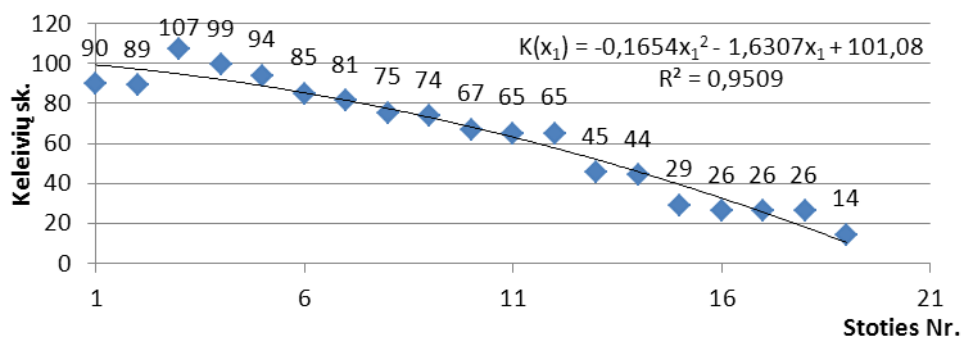
**Table 3.9.** Profit (loss) per 1 train/km on the basis of passengers number at the route Vilnius–Šeštokai

Keleivių skaičiaus padidėjimas, kartais	Vidutinės 1 trauk. km pelnas (nuostoliai), Lt
1,00	-20,05
1,50	-11,29
2,00	-5,57
2,50	0



**Reiso Vilnius–Turmantas analizė.** Šiam reisuimaršrutui taip pat būdingos visos šiuo metu Lietuvos geležinkelių tinkle naudojamos traukos, o reiso keleivių skaičius pasiskirsto tolygiai (3.14 pav.).

Atlikus pajamų ir išlaidų analizę tarpstočiuose ir visame reise, gauti rezultatai surašyti į 3.10 lentelę. Šiame reise naudoti mišriąją trauką, t. y. nuo stoties „Elektrodepas-1“ persodinti keleivius į automotrisės arba dyzelinį traukinį organizaciniu, techniniu ir ekonominiu požiūriais netikslinga, nes gaunamos pajamos, lyginant su dviem automotrisėmis arba dviem dyzeliniais vagonais, skiriasi labai mažai: pirmuoju atveju – 1,79 Lt, o antruoju – 14,79 Lt. Taigi, suskaičiavus laiko nuostolius persodinant žmones, taip pat įvertinus keleiviams sudarytus nepatogumus, toks variantas nėra pageidautinas.



3.14 pav. Keleivių srauto pokytis reise Vilnius–Turmantas

Fig. 3.14. Change of passenger flow at the route Vilnius–Turmantas

3.10 lentelė. Tarpstočio pelnas (nuostoliai), apskaičiuotas sudarytu modeliu, Lt

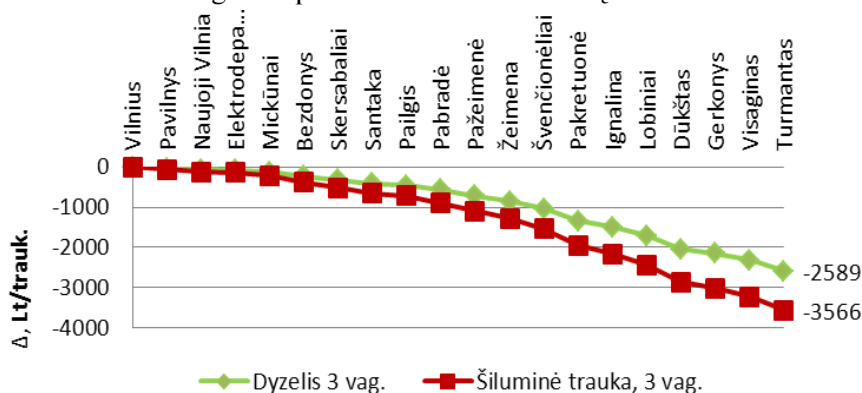
Table 3.10. Mid-station profit (loss), calculated on the basis of the drafted model, in LTL

Eil. Nr.	Stotis	Elektrinė trauka, du vagonai	Automotrisė	Dvi automotrisės	Dyzelis, vienas vagonas	Dyzelis, du vagonai	Šiluminė trauka, vienas vagonas	Šiluminė trauka, du vagonai	Dyzelis, trys vagonai	Šiluminė trauka, trys vagonai
1	Vilnius	0	–	0	–	0	–	0	0	0
2	Pavilnys	31,3	–	30,45	–	24,25	–	9,35	–35,35	–65,15
3	Naujoji Vilnia	54,66	–	53,13	–	41,97	–	15,15	–65,35	–118,99
4	Elektrodepas-1	70,54	–	68,75	–	55,75	–	24,41	–69,87	–132,57
5	Mickūnai	–	–	90,25	–	69,85	–	22,86	–118,17	–212,12
6	Bezdonys	–	–	115,27	–	80,47	–	2,97	–228,78	–383,57
7	Skersabalai	–	–	132,49	–	86,77	–	–13,83	–314,32	–515,1

2.10 lentelės pabaiga

Eil. Nr.	Stotis	Elektrinė trauka, du vagonai	Automotrisė	Dvi automotrisės	Dyzelis, vienas vago- nas	Dyzelis, du vagonai	Šiluminė trauka, vienas vag.	Šiluminė trauka, du vagonai	Dyzelis, trys vagonai	Šiluminė trauka, trys vagonai
8	Santaka	–	–	0	–	88,1	–	–35,6	–404,83	–651,67
9	Pailgis	–	–	153,1	–	90,82	–	–44,8	–449,83	–720,51
10	Pabradė	–	152,86	152,86	77,94	77,94	–84,48	–84,48	–569,27	–893,39
11	Pažeimenė	–	216,31	143,32	136,71	54	–35,52	–138,93	–714,44	–1099,4
12	Žeimena	–	265,59	128,52	181,91	26,56	1,04	–193,17	–848,44	–1286,84
13	Švenčionėliai	–	316,29	97,42	227,41	–20,64	35,54	–274,67	–1031,64	–1538,24
14	Pakretuonė	–	374,79	29,77	277,96	–113,19	68,99	–420,02	–1333,74	–1945,49
15	Ignalina	–	398,79	–10,39	297,88	–165,99	80,27	–499,62	–1493,1	–2158,21
16	Lobiniai	–	416,19	–74,79	310,08	–246,59	81,37	–614,42	–1709,7	–2443,01
17	Dūkštas	–	422,07	–186,23	308,4	–381,27	63,87	–798,1	–2039,26	–2870,29
18	Gerkonys	–	419,97	–225,83	303,95	–428,22	54,37	–860,7	–2148,66	–3010,89
19	Visaginas	–	406,25	–294,78	286,73	–508,02	29,73	–963,6	–2320,3	–3228,59
20	Turmantas	–	371,15	–411,68	246,43	–641,02	–21,57	–1130,9	–2589,3	–3565,79

Geriausia būtų iš Vilniaus išvažiuoti dviem automotrisėmis, o nuo Pabradės stoties vieną atkabinti. Tokiu atveju šiame reise pajamos viršytų išlaidas 371 Lt. Važiuojant su dviem automotrisėmis iki Turmanto, išlaidos viršytų pajamas 412 Lt. Panašus atvejis ir su dviejų vagonų dyzeliniu traukiniu – atkabinus vieną vagoną Pabradėje gaunamas 246 Lt pelnas, o važiuojant iki Turmanto su dviem dyzelinio traukinio vagonais patiriama 641 Lt nuostolių.



3.15 pav. Reiso Vilnius–Turmantas nuostolių apskaičiavimas sudarytu modeliu, Lt/trauk.

Fig. 3.15. Calculation of losses on the basis of a drafted model for the route Vilnius–Turmantas, LTL/train

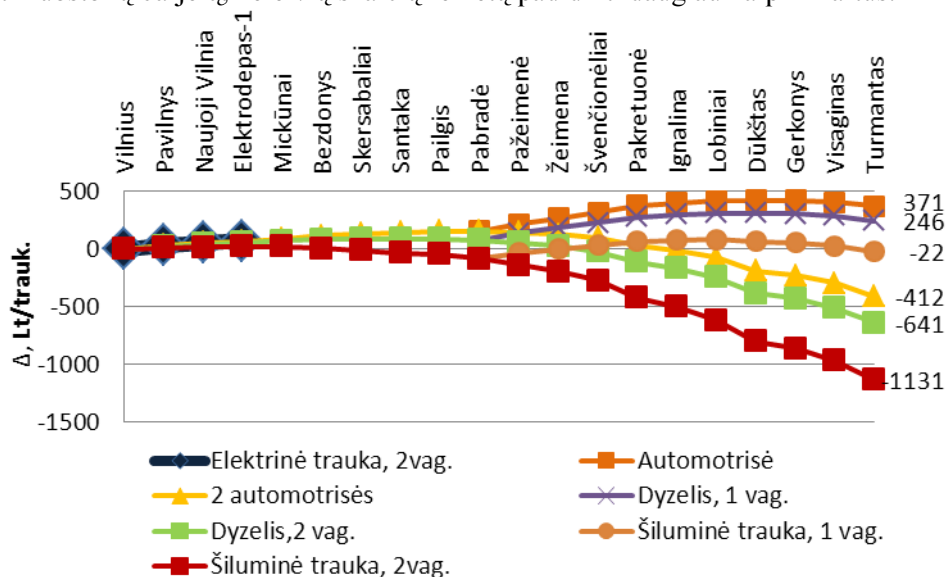
Palyginus esamą padėtį reise Vilnius–Turmantas (3.15 pav.) su optimizuoto maršruto galimybėmis, pastebima, kad naudojant dviejų ir vienos automotrisių derinį vietoje dyzelinės traukos su trimis vagonais gaunamų 2589 Lt nuostolių galima gauti 371 Lt pelno, o naudojant dyzelinį traukinį dviejų ir vieno vagono derinį galima gauti 246 Lt pelno. Taigi šiame ruože tikslingiausia naudoti dviejų automotrisių sąstatą.

3.16 pav. parodyta ekonominė nauda visoms traukoms, kai Pabradės stotyje trumpinami traukiniai, t. y. atkabinami vagonai.

Žinoma, važiuojant priešinga kryptimi Turmantas–Vilnius Pabradėje vagonai turėtų būti prikabinami. Taigi ir šiame reise tikslinga performuoti traukinius maršruto viduryje. Tam reikia sudaryti tinkamas technines galimybes.

Kaip ir anksčiau nagrinėtuose reisuose, taip ir šiame – Vilnius–Turmantas, bandoma surasti pajamų ir išlaidų skirtumą, lygų nuliui ( $\Delta = 0$ ), nekeičiant keleivių skaičiaus, o varijuojant kitais pajamų didinimo kriterijais. Optimizavimo rezultatai pateikti 3.11 lentelėje. Matyti, kad tam nekeičiant 1 kel. km įkainio, dotacijas reikėtų padidinti 60 proc., o rinkliavas už naudojimąsi viešąja infrastruktūra sumažinti 20 proc.

Paliekant visus kitus pajamų didinimo veiksnius tuos pačius, norint peržengti nuostolių barjerą, keleivių skaičių reikėtų padidinti daugiau kaip 2 kartus.



**3.16 pav.** Reiso Vilnius–Turmantas galimi deriniai ir pelno (nuostolių) apskaičiavimas sudarytu modeliu, Lt/trauk.

**Fig. 3.16.** Possible combinations and calculation of incomes (losses) on the made up model for the route Vilnius–Turmantas, LTL/train

**3.11 lentelė.** Reiso Vilnius–Turmantas pajamų didinimo galimybių analizė važiuojant trimis vagonais dyzeline trauka

**Table 3.11.** Income increase (loss reduction) options analysis using 3 carriages combination with diesel traction at the route Vilnius–Turmantas

Sudedamoji dalis	Reikšmė, %
1 kel. km įkainis	0
Dotacija, kompensacija	+60
Mokestis už naudojimąsi viešąja geležinkelio infrastruktūra (rinkliava)	–20
$\Delta$	0

**3.12 lentelė.** Reiso Vilnius–Turmantas pelnas (nuostolis) 1 vag. km priklausomai nuo keleivių skaičiaus

**Table 3.12.** Profit (loss) per 1 train/km on the basis of passengers number at the route Vilnius–Turmantas

Keleivių skaičiaus padidėjimas, kartais	Vidutinis 1 trauk./ km pelnas (nuostoliai), Lt
1,00	–15,70
1,50	–9,49
2,00	–3,18
2,50	3,13

Reise Vilnius–Turmantas nėra tikslinga naudoti elektrinę trauką, susijusią su nepatogumais persodinant keleivius Naujojoje Vilnioje, be to, trumpu atstumu ekonominis efektas nėra didelis (3.10 lentelė). Pats geriausias variantas iš Vilniaus išvykti dviem automotrisėmis, o nuo Pabradės vieną jų atkabinti. Tokiu atveju šio reiso pajamos viršytų išlaidas apie 371 Lt.

### 3.6. Trečiojo skyriaus išvados

1. Remiantis 2005–2009 m. surinktais stočių maršrutų statistiniais duomenimis buvo sudarytos 1, 2 ir 3 laipsnio keleivių skaičiaus kaitos regresijos lygtys (3.2 lentelė).
2. Sudarytas matematinis pajamų ir išlaidų modelis, leidžiantis įvertinti visus galimus pajamų ir išlaidų veiksnus bei minimizuoti kiekvieno maršruto sąnaudas, parenkant traukos rūšį ir sąstatų ilgį.
3. Atlikus analizę, matematiniam priemonių parinkimo modeliui realizuoti pritaikytas netiesinių lygčių su daugeliu kintamųjų ir apribojimais ekstremumo paieškos metodas.
4. Sudarytos atskirų išlaidų sudedamųjų dalių kitimo regresijos lygtys per pastaruosius šešerius metus (3.2–3.5 pav.).

5. Rastos koeficientų reikšmės, įvertinančios naudojamą traukos rūšį modelyje (3.3 lentelė). Nustatyta, kad pigiausia yra elektrinė trauka, o brangiausia – šiluminė.
6. Realizuotas trijų būdingų keleivių maršrutų matematinis modelis: Klaipėda–Vilnius, Vilnius–Šeštokai ir Vilnius–Turmantas. Jie parinkti todėl, kad galima realizuoti visas dabar naudojamas traukas Lietuvos geležinkeluose.
7. Apskaičiuota, kad reisui Klaipėda–Vilnius, kai keleivių skaičius neviršija 100, panaudojus dvi automotrisės, galima sumažinti nuostolius, lyginant su dyzeline trauka, apie 4 kartus.
8. Apskaičiuota, kad reisui Vilnius–Šeštokai naudojant elektrinę trauką iki Kauno, o toliau paleidus 1 automotrisę, būtų gautas teigiamas pajamų ir išlaidų skirtumas  $\Delta = 398$  Lt.
9. Pristatytu modeliu optimizuojant pajamas ir išlaidas galima varijuoti visais pajamų ir išlaidų parametrais, taip pat ir keleivių skaičiumi. Palikus anksčiau nagrinėtuose ruožuose tas pačias traukos rūšis, norint vežti bent jau be nuostolių, t. y.  $\Delta \rightarrow 0$ , reiktų padidinti keleivių skaičių nuo 2 iki 3 kartų.
10. Šis modelis praktikoje turėtų būti taikomas dinamiškai, atsižvelgiant į pajamų ir išlaidų sudedamųjų dalių pakeitimus ne tik žiemos ir vasaros periodais, bet ir švenčių dienomis, sudarytas sąlygas transformuoti maršrutų sąstatus ir keisti traukos rūšį.



---

## Komforto gerinimo keleiviniuose traukiniuose veiksniai

Skyriuje nagrinėjamas vienas pagrindinių keleivių komforto gerinimo veiksnių – vibracija. Skyriaus tematika paskelbti autoriaus straipsniai (Dailydka, Lingaitis, Myamlin, Prichodko 2008a; Dailydka, Lingaitis, Myamlin, Prichodko 2008b; Lingaitis, Dailydka, Myamlin, Prichodko 2008).

AB „Lietuvos geležinkeliai“ atliktos keleivių apklausos rezultatai objektyviai rodo pagrindines keleivių srautų didinimo ir jų vežimo sąlygų gerinimo veiklos kryptis. Svorio koeficientai, lemiantys keleivių skaičių, yra tokie:

- ilgas kelionės laikas – 0,42;
- trūksta komforto – 0,21;
- prastos stotys – 0,12;
- netinkami eismo tvarkaraščiai – 0,11;
- per brangūs bilietai – 0,09;
- blogas geležinkelio ir autobusų darbo koordinavimas – 0,03;
- kiti trūkumai – 0,02.

Iš apklausos rezultatų matyti, kad vienas svarbiausių veiksnių, darančių įtaką keleivių srautams, yra vežimo geležinkeliu komfortas (0,21). Šį teiginį patvirtina ir AB „Lietuvos geležinkeliai“ įsigytas komfortiškas elektrinis traukinys EJ 575, kurio pirmųjų metų eksploatacija parodė, kad keleivių srautai padidėjo apie

15 proc. Traukinys pasižymi aukštomis tolygaus eismo savybėmis, t. y. itin mažos vibracijos ir triukšmai salonuose. Šiame skyriuje bus tiriami minėti parametrai.

## 4.1. Vibracijos poveikis keleiviams

Vagonų vibracija sukelia įvairiapusį poveikį keleiviams. Ji blogina keleivių savijautą, mažina juos aptarnaujančiojo personalo darbingumą. Todėl būtina įvertinti vibracijos intensyvumą, atsižvelgiant į žalingą jos poveikį žmogui. Mažinant bendrą vibracijos lygį būtina atsižvelgti į vibracijų dažnius, nes 4–8 Hz vibracijų dažniai itin žalingi žmogaus organizmui. Vibracijos ir triukšmo poveikis keleiviui lemia jo kelionės komfortą, kurį nusako visas kompleksas parametrų – vibracijos dažnis ir amplitudė, triukšmo lygis, oro drėgnumas bei temperatūra ir kt.

Praktiškai vertinant riedmenų vibracijos lygį, atsižvelgiant į keleivių patogumą, naudotasi Šperlingo tolygios eigos rodikliu (Оценка воздействия... 2000):

$$W_z = 0,896c(f)^{10}\sqrt{a^3 f^{-1}}, \quad (4.1)$$

čia:  $a$  – pagreičio amplitudė,  $\text{cm/s}^2$ ;  $c(f)$  – dažnio ir vibracijos krypties koeficientas, veikiantis keleivio savijautą;  $f$  – vibracijos dažnis, Hz.

Vibracijos dažnai nepaklūsta sinusoidiniam dėsniai, todėl eigos tolygumui įvertinti gali būti naudojama ir kita išraiška:

$$W_z = 0,896_{10}\sqrt{\sum_i \sum_j P_{ij} a_{ij}^3 c^{10}(f_j) f^{-1}}, \quad (4.2)$$

čia:  $i, j$  – intervalų indeksai, atitinkamai amplitudėms ir greitėjimo proceso skirtingų pusperiodžių dalims;  $P_{ij}$  –  $i$ -tojo intervalo ir  $j$ -osios dalies kartotinumai.

Remiantis (4.2) apskaičiuoti tolygios eigos rodikliai lyginami su standartinė vertinimo skale (ISO 2631). Pagal lyginamuosius rezultatus galutinai įvertinama vagono važiuoklės kokybė.

4.1 lentelėje pateiktos  $W_z$  koeficiento reikšmės, naudojamos tolygiai eigai vertinti.

Vibracija neigiamai veikia žmogaus klausą, regėjimą, kraujotaką, nervų sistemą, taip pat smegenų veiklą.



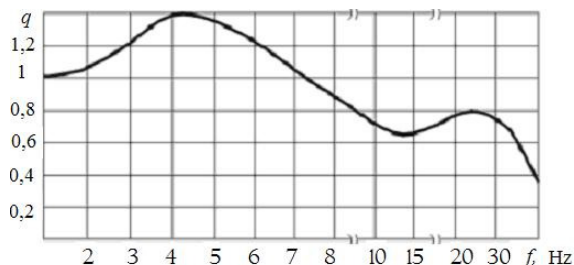
**4.1 lentelė.** Koeficiento  $W_z$  reikšmės, naudojamos tolygiai eigai vertinti

**Table 4.1.** Values of coefficient  $W_z$  used for evaluation of uniform motion

Eil. Nr.	Eigos pobūdis	$W_z$ reikšmė
1	Labai gera	2,0
2	Gera	2,0–2,5
3	Pakankama keleiviniams vagonams	2,5–3,0
4	Ribinė keleiviniams vagonams	3,0–3,25
5	Ribinė lokomotyvams	3,5–3,75
6	Ribinė atsižvelgiant į žmogaus fiziologiją	4,5

Organai, tiesiogiai priimančys vibraciją, skirstomi į dvi grupes. Pirmajai priklauso pusiausvyros organai (vestibulinis aparatas), kurie yra vidinėje ausyje. Sujungti atitinkamais ryšiais su smegenimis, jie veikia kaip suminis kampinių ir linijinių pagreičių matuoklis. Informacija, kurią pusiausvyros organai siunčia smegenims, vibracijos metu gali būti iškreipta, dezorientuojanti, o kai kuriais atvejais erzinti ir sukelianti žmogui ligos būseną. Jėgos ir poslinkiai, sukelti vibracijos, slopinami daugybe mechaninių receptorių, esančių žmogaus organizme. Kai kurie iš jų, esantys raumenyse ir sausgyslėse, signalizuoja apie kūno padėtį ir jį veikiančias jėgas. Jie veikia kartu su ta centrinės nervų sistemos dalimi, kuri reguliuoja kūno padėtį ir jo judesius. Šie receptoriai reaguoja į bet kokius pakitimus, taip pat ir į žemuosius dažnius.

Antrajai grupei priklauso receptoriai, kurie yra odoje ir jungiamuosiuose audiniuose bei atlieka jutimo (lytėjimo) funkcijas, reaguodami į aukštesnius dažnius (apie 30 Hz). Vibracija tam tikrą poveikį daro organizmui per regėjimo ir klausos organus. Perduodant vibraciją nuo jos pridėties vietos receptoriams, vieni dažniai sustiprinami, o kiti – susilpninami. 4.1 pav. pavaizduotas dažnio rodiklio  $q = A_1/A_2$  (čia  $A_1$  ir  $A_2$  – kūno vertikalųjų vibracijų amplitudės atitinkamai galvos ir sėdynės lygyje) funkcijos kitimas galvos–juosmens sistemos plote.



**4.1 pav.** Koeficiento  $q$  kitimas nuo vibracijos dažnio  $f$  funkcijos

**Fig. 4.1.** Correlation between coefficient  $q$  and the vibration frequency function  $f$ 

Iš 4.1 pav. matyti, kad esant dažniu 4 Hz, rodiklis  $q = 1,4$ . Tai reiškia, kad vibracijos amplitudė galvos lygyje 40 proc. didesnė negu sėdynės.

Poveikis žmogui taip pat priklauso nuo vibracijos trukmės. Juo ji ilgesnė, tuo labiau pažeidžiamos fiziologinės organizmo funkcijos, be to, juo ilgiau veikė vibracija, tuo ilgiau reikia organizmui atsistatyti į normalią būklę.

#### 4.1.1. Vibracijos vertinimo kriterijai ir metodika

Universaliais laikomi šie parametrai, apibūdinantys vibracijos poveikį žmogaus organizmui:

- vidutinis kvadratinis vibracijos pagreičio dydis, taip pat vibracijų amplitudė;
- smūginio veikimo koeficientas, lygus maksimalios reikšmės ir vidutinės kvadratinės reikšmės santykiui. Jo dydis ne didesnis kaip 4;
- pagreičio kitimo intensyvumas, išreiškiamas  $(\text{m/s}^2)^2/\text{Hz}$ ;
- vibracijos jautrumo izolinijos arba sėdinčio keleivio tolygaus organizmo sužadinimo kreivės vertikalėmis vibracijomis;
- maksimalus žmogaus jautrumas vibracijoms 4–8 Hz diapazone, kai žmogaus organizme gali įvykti rezonansas;
- tam tikro dažnio vibracijos trukmės poveikis organizmui, pvz., 1 Hz.

Žmogaus organizmo būklės pokytį nuo vibracijos galima įvertinti vibravimo energija  $E$ , perduota organizmui per laiką  $T$ :

$$E = v^2 T |z|, \quad (4.3)$$

čia  $v$  ir  $|z|$  – atitinkamai vibravimo greitis ir įeinančio impedanso modulis sužadinimo jėgos pridėties taške.

Sandauga  $v^2 |z|$  yra galingumas, kurį sudaro aktyvioji dedamoji, sugeriamo organizmo ir plintanti kaip šiluma, ir reaktyvioji, grįžtanti į vibracijos šaltinį.

Vibracijos vertinimo kriterijumi galima naudoti sklaidos galingumą  $Q_R$ :

$$Q_R = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T F(t) v(t) dt, \quad (4.4)$$

čia  $F(t)$  ir  $v(t)$  – jėgos ir greičio pakitimai pagal laiko funkciją žmogaus kontakto vietoje su vibracijos šaltiniu.

Sudarant vibracijos vertinimo metodikas keleiviui labai svarbu, ką pasirinkti: atskiras dažnių juostas ar integralines visam dažnių diapazonui. Standartas

ISO teikia pirmenybę integraliniam vertinimui, remiantis vibracijos jutimo izoliacijomis.

Vibracijos poveikį žmogui galima pavaizduoti blokine schema, pateikta 4.2 pav.



**4.2 pav.** Vibracijos poveikio žmogui blokinė schema  
**Fig. 4.2.** Human exposure to vibration in block diagram

Čia vibracijos išreikštos nuosekliai mechaninės sistemos linijiniu operatoriumi ir nelinijiniu fiziologinės sistemos operatoriumi. Pagal šią metodiką poveikis organizmui vertinamas nustatant galvos pagreičius.

Reikia atsiminti, kad pagrečiai galvos ir sėdynės lygiuose yra susiję šia išraiška:

$$S_g = S_s g_r(w), \quad (4.5)$$

čia:  $g_r(v)$  – santykio koeficiento modulis;  $S_g, S_s$  – vidutiniai kvadratiniai pagrečiai atitinkamai galvos ir sėdynės lygyje.

Išraiška, pagal kurią nustatoma leidžiama vibracijos trukmė žmogaus organizmui, priklausomai nuo kūno vidutinio kvadratinio pagreičio sėdynės lygyje, atodo taip:

$$\tau_d = \sum \varphi_1 S_{vn}^{\alpha 1}, \text{ min.}, \quad (4.6)$$

čia:  $\varphi_1$  – funkcija, priklausanti nuo pastovių koeficientų;  $S_{vn}^{\alpha 1}$  – dažnio charakteristikos funkcija.

4.2 lentelėje pateiktos organizmui leidžiamos vibracijos trukmių reikšmės.

**4.2 lentelė.** Leidžiama vibracijos trukmė  $\tau_d$  organizmui

**Table 4.2.** Allowed duration of vibration  $\tau_d$  on the body

$S_s, \text{ m/s}^2$	$\tau_d, \text{ min.},$ pagal ISO standartą
0,12	1440
0,18	960
0,27	600
0,315	480
0,38	378

## 4.2 lentelės pabaiga

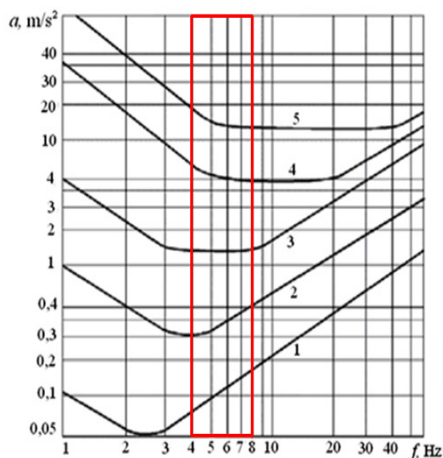
$S_s, \text{m/s}^2$	$\tau_d, \text{min.},$ pagal ISO standartą
0,53	240
0,71	150
0,95	96
1,18	60
1,5	40
1,8	25
2,13	16
2,36	10
2,65	6,3

Analogiška priklausomybė gali būti gauta naudojant empirinę formulę:

$$\tau_d = 10^{-3} \left( 2,96 S_s^{0,827} + 8,51 + 0,235 S_s^{6,33} \right). \quad (4.7)$$

#### 4.1.2. Leidžiami vibracijos parametrai

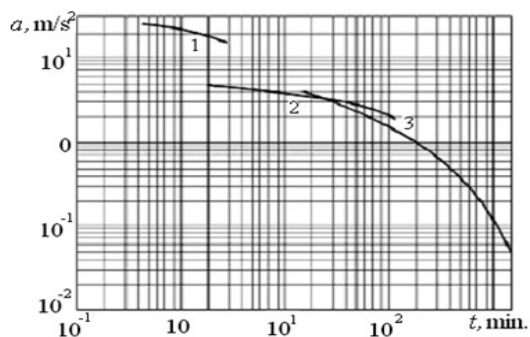
Pateiktos mintys leidžia daryti išvadą apie tai, kad žmogaus organizmui labiausiai kenksmingi 4–8 Hz diapazono dažniai. 4.3 pav. pateiktos vertikalųjų vibracijų organizmo jutimo izolinijos.



**4.3 pav.** Vertikalųjų vibracijų jutimo izolinijos:  $a$  – pagreitis;  $f$  – dažnis; 1 – vibracija nejuntama; 2 – vibracija juntama; 3 – vibracija juntama aiškiai; 4 – nemalonūs poveikis; 5 – nepakeliamas poveikis

**Fig. 4.3.** Vertical vibration sensing contour lines:  $a$  – acceleration,  $f$  – frequency; 1 – imperceptible vibration; 2 – vibration felt; 3 – vibration felt clearly; 4 – nasty effect; 5 – severe impact

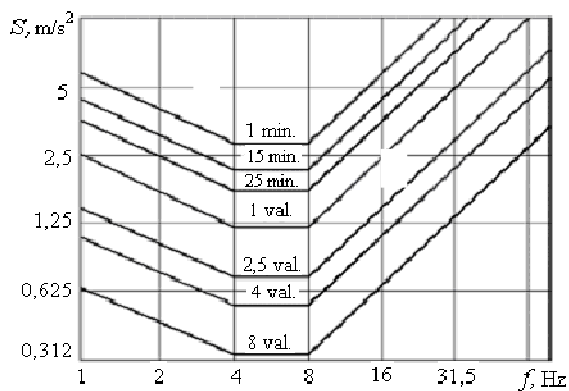
4.4 pav. pateiktos kreivės, rodančios harmoninių virpesių trukmės įtaką žmogaus būklei, veikiant 1 Hz dažniui.



**4.4 pav.** Vibracijų trukmės įtaka žmogaus organizmo būklei, kai dažnis 1 Hz:  
 $a$  – pagreitis;  $t$  – laikas; 1 – skausmo slenkstis; 2 – darbo našumo mažėjimas;  
 3 – bendras nuovargis

**Fig. 4.4.** Term influence of vibrations on the human body condition at a frequency of 1 Hz:  $a$  – acceleration;  $t$  – time; 1 – the pain threshold; 2 – loss of productivity; 3 – the total fatigue

ISO standartų siūlomos vertikalių vibracijų jutimo izolinijos pavaizduotos 4.5 pav.



**4.5 pav.** Vertikalių vibracijų įtaka pagal ISO standartą:

$S_s$  – kūno pagreitis sėdynės lygyje;  $f$  – dažnis

**Fig. 4.5.** Influence of vertical vibration in accordance with ISO standard:

$S_s$  – the seat body acceleration level,  $f$  – frequency

Pagal šį standartą esant vibracijai sėdynės lygyje ir pagreičiui  $0,118 \text{ m/s}^2$ , žmogui leidžiama trukmė siekia 1440 min.,  $0,95 \text{ m/s}^2$  – 96 min., o kai pagreitis siekia  $2,65 \text{ m/s}^2$  – ne ilgiau kaip 6,3 min.

Viršijus šias normas, žmogus gali rimtai susirgti. Norint garantuoti būtiną komfortą keleiviniuose vagonuose, tolygios eigos koeficientas privalo būti  $W_Z = 2,0 - 2,5$ .

Taigi, apibendrinus vibracijos poveikį žmogaus organizmui, t. y. jo sveikatai ir patogiai jausenai vagone, galima konstatuoti, kad vibracija yra sunkiausiai kontroliuojama ir sunkiai pasiekiamos leistinos jos normos vagonuose. Tai priklauso ne tik nuo vagonų konstrukcijos, bet ir nuo kelio kokybės. Pastarasis veiksnys yra pagrindinis virpesių žadintuvas. *Mechaniniai virpesiai slopinami įvairiausiomis techninėmis-ergonominėmis priemonėmis, tačiau svarbiausias elementas šioje sistemoje – važiuoklių pakabos*. Norint parinkti techninius važiuoklių parametrus, kuriems esant tolygios eigos koeficientas neviršytų leistinojo  $W_Z = 2,0 - 2,5$ , o leidžiama vibracijos trukmė ir pagrečiai neviršytų ribų, nurodytų 4.2 lentelėje, būtina, kad vežimėlių konstrukcijos turėtų atitinkamus dinامينius ir stovumo koeficientus, važiuojant traukiniui maksimaliai leistinais greičiais.

Šį klausimą autorius tyrinėjo kartu su Ukrainos Kriukovo vagonų gamyklos specialistais konstruojant naujas pakabas greitaeigiams traukiniams. Tolesni tyrimai skirti minėtai problemai spręsti.

## 4.2. Keleivinių vagonų važiuoklių pakabų optimalių parametrų paieškos sąlygų nustatymas

Kaip minėta (4.1 poskyris), vienas pagrindinių parametrų, sudarančių gerą komfortą keleiviui vagone, yra tolygios eigos koeficientas, kuris glaudžiai siejasi su vibracijos dažniais, pagrečiais ir amplitudėmis. Sumažinti vibraciją vagonuose galima įvairiomis priemonėmis, pvz., įrengiant patogius, vibracijas slopinančius krėslus, parenkant atitinkamas konstrukcines vagonų medžiagas ir kt. Tačiau pagrindinis elementas, mažinantis kelio sukeltus virpesius, yra vagonų vežimėlių pakaba. Jos parametrų parinkimui ir skiriamas šis poskyris.

Efektyvi (veiksni) geležinkelio riedmenų pakaba gerina komfortą ne tik keleiviniuose traukiniuose, bet ir didina važiuoklių, visų riedmenų elementų patikimumą ir ilgaamžiškumą, pozityviai veikia geležinkelio saugumą. Sudarant skaičiavimo modelius, pakabų efektyvumas išreiškiamas įvairiomis tampriųjų ir klampiųjų elementų kombinacijomis, įvertinamas dinaminiais klampos koeficientais ir kitais parametrais. Sprendžiant optimalių pakabos parametrų reikšmių nustatymo uždavinius, pirmiausia būtina išsiaiškinti klausimus, susijusius su šių

uždavinių sprendimo technologija. Norint gauti realius rezultatus, būtina nustatyti tikslo funkcijos komponentus, išaiškinti, ar būtina suteikti vieniems ar kitiems iš jų pirmenybę, ar visi komponentai privalo daryti vienodą įtaką formuojant tikslo funkciją. Be to, būtina nustatyti skaičiavimo sąlygas, t. y. parinkti žadinimo (nelygumų) funkcijas ir važiuoklių riedėjimo sąlygas.

Jeigu dėl išvardytų veiksmų galima *a priori* parinkti tam tikras prielaidas, kurios gali būti tikslinamos skaičiuojant, tai parinkti riedmenų judesio greitį ir pradines reikšmes optimizuojant pakabų parametrus iš anksto nėra galimybių.

Keliamas uždavinys nustatyti tikslo funkcijos komponentus, svertines jų reikšmes, parinkti parametrų režimus, kuriems esant bus atliekami skaičiavimai, optimizuojamųjų parametrų dydžių ribas, jų pradines reikšmes ir greičius.

### 4.2.1. Tikslo funkcijos komponentai

Į tikslo funkciją būtina įtraukti ašidėžių ir centrinės pakabos pakopų normuojamus dinامينius rodiklius (Lingaitis, Dailidka, Myamlin, Prichodko 2008):

$K_{dva}^{\max}$  – ašidėžės pakabos vertikalus dinaminis koeficientas;

$K_{dha}^{\max}$  – ašidėžės pakabos horizontalus dinaminis koeficientas;

$K_s^{\min}$  – stovumo koeficientas, įvertinantis rato briaunos pasipriešinimą užlipimui ant bėgio;

$K_{dvc}^{\max}$  – centrinės pakabos vertikalus dinaminis koeficientas;

$A_{kv}^{\max}, g$  – vertikalus kėbulo pagreitis;

$A_{kh}^{\max}, g$  – horizontalus kėbulo pagreitis.

Šie dinaminiai rodikliai turi skirtingas leistinas ribines reikšmes. Jos parodytos 4.3 lentelėje.

### 4.3 lentelė. Pagrindinių dinaminų rodiklių leistinos reikšmės

**Table 4.3.** Limitary values of the main dynamic indicators

$K_{dva}^{\max}$	$K_{dha}^{\max}$	$K_s^{\min}$	$K_{dvc}^{\max}$	$A_{kv}^{\max}, g$	$A_{kh}^{\max}, g$
0,8	0,38	1*	0,6	0,6	0,25

\* Skaičiuojant pagal bėgio ir aširačio sąveikos jėgas.

Ribojamos visų dinaminų rodiklių viršutinės reikšmės, išskyrus stovumo koeficiento reikšmę  $K_s^{\min}$ . Šiam rodikliui parenkama minimali leistinoji reikšmė. Siekiant suvesti dinaminų rodiklių kitimą (kaitą) į vieną diapazoną nuo 0 iki 1, juos būtina normuoti. Tam tikslui visus dinامينius rodiklius, išskyrus  $K_s$ , būtina padidinti iki jų maksimalių leistinųjų reikšmių, o  $K_s$  reikšmę pakeisti taip, kad normuotas rodiklis mažėtų didinant  $K_s$  ir didėtų ją mažinant. Įvertinus

išdėstytus pakeitimus (perdirbimus), tikslo funkcijos parametrų vektorius atrodys taip (Lingaitis, Dailydka, Myamlin, Prichodko 2008):

$$\bar{\varphi} = \left[ \frac{K_{dva}}{K_{dva}^{\max}} \cdot \frac{K_{dha}}{K_{dha}^{\max}} \cdot \frac{(K_s^{\max} - K_s)}{K_s^{\max} - K_s^{\min}} \cdot \frac{K_{dvc}}{K_{dvc}^{\max}} \cdot \frac{A_{kv}}{A_{kv}^{\max}} \cdot \frac{A_{kh}}{A_{kh}^{\max}} \right]^T. \quad (4.8)$$

čia  $T$  – transponuota matrica.

**Tikslo funkcijos komponentų svertiniai koeficientai.** Akivaizdu, kad dinaminių rodiklių įtaka yra skirtinga. Būtina turėti galimybę keisti vieno ar kito tikslo funkcijos komponento reikšmę. Tam tikslui kiekvienas tikslo funkcijos komponentas privalo turėti svertinį (svarbos) koeficientą, kuris duos galimybę sustiprinti vienų tikslo funkcijos komponentų įtaką jos reikšmei ir susilpninti kitų. Kad tikslo funkcijos reikšmė taip pat svyruotų diapazone nuo 0 iki 1, svertinių (svarbos) koeficientų suma turi būti lygi vienetui. Galutinai tikslo funkcija atrodys taip:

$$F(\bar{\varphi}) = \sum_{i=1}^{i=6} \lambda_i \varphi_i. \quad (4.9)$$

Skaičiuojant dinامينius vagono rodiklius didinant važiavimo greitį, visi jie artėja prie leistinų ribų. Patirtis rodo, kad pirmasis iš visų dinaminių rodiklių leistinas ribas viršija stovumo (rato briaunos pasipriešinimas užlipimui ant bėgio) koeficientas, todėl visų svertinių koeficientų reikšmės  $\lambda_i$ , išskyrus koeficientą  $K_s$ , parinktos 0,1, o  $K_s$  atitinka 0,5.

Norint atlikti skaičiavimus, reikia parinkti (nustatyti) žadinimo funkciją į važiuoklę. Tokiems žadinimams yra geometriniai bėgių kelio nelygumai vertikaliajoje ir skersinėje judesiui plokštumose. Nelygumai turi būti tokie, kad važiuoklę veiktų sužadinimo jėgos visomis kryptimis ir pagal galimybę veiktų visų rūšių virpesiai. Skaičiuoti parenkami nesimetriniai atsiktinio pobūdžio procesai papildyti nesimetrinėmis sandūromis vertikalojoje plokštumoje, sukeliantys šoninius svyravimus. Skaičiavimams tikslinga pasirinkti tiesinį ruožą, nes kreivėse važiavimo greitis ribojamas ne tik dinaminių rodiklių reikšmėmis, bet ir nenuslopintais pagrečiais, o tai apsunkintų parametrų parinkimą.

Daugelis mokslininkų, modeliuodami geležinkelio riedmenų važiuoklių judesį bėgiais, naudojami geometrinėmis ir mechaninėmis kontaktuojančių kūnų savybėmis, taip pat taiko įvairias teorijas praslystančių kūnų ten veikiančioms jėgoms nustatyti (Лазарян, Длугач, Коротенко 1972; Данович 1981; Вериге, Коган 1986; Мямлин 2002a). Tačiau dažniausiai nagrinėjami rato ir bėgio sąveikos modeliai teigiant, kad ratas rieda nepertraukiamai, įvertinant arba neįvertinant kelio nelygumus. Siekdami supaprastinti matematinius modelius autoriai



parenka plokštumines skaičiavimo schemas, t. y. vertikaliojoje arba horizontaliojoje plokštumose. Tačiau norint tiksliau nustatyti svyravimo parametrus, tikslinga nagrinėti erdvinę modelio schemą. Nemažai autorių nagrinėjo ir nemažai matematinių erdviųjų svyravimų modelių (Лазарян, Длугач, Коротенко 1972; Данович 1981; Мямлин 2002a), tačiau tik kai kuriuose (Мямлин 2003a) buvo bandyta matematiškai aprašyti rato nuo bėgio atotrūkio procesą.

Korektiškas rato ir bėgio sąveikos matematinis aprašymas, nustatant priverstinius važiuoklės virpesius, padės tiksliau apskaičiuoti dinامينius rodiklius ir ypač tuos, kurie turi didelę įtaką eismo saugumui. Toks matematinis modelis išsamiai išnagrinėtas darbe (Dailydka, Lingaitis, Myamlin, Prichodko 2008a).

Toliau nagrinėjamas rato ir bėgio sąveikos matematinis modelis, įvertinant rato atotrūkį nuo bėgio, kai ratas praranda kontaktą su bėgiu.

Tarkime, ratą veikia jėga  $Q$ . Tuomet  $y$  bus bėgio įlinkis, o  $R(y)$  – bėgio reakcija įlinkiui. Kai tarp rato ir bėgio yra kontaktas, galima parašyti diferencialinę lygtį:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -R(y) + Q, \quad (4.10)$$

čia  $m$  – rato masė.

Ši lygybė yra nagrinėjama darbe (Блохин, Данович, Морозов 1986). Ja remiantis buvo gauti įtempiai tiesiniame bėgyje ir bėgyje su nelygumais  $\eta(x)$ , kai ratas riedėjo pastoviu greičiu  $v$ .

Vietoje lygties (4.10) nagrinėjam tokio tipo lygtis:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -R(y) \cdot H(y) + Q, \quad (4.11)$$

čia  $H(y)$  – Chevisaiddo funkcija, t. y.:

$$H(y) = \begin{cases} 0, & \text{kai } y \leq 0; \\ 1, & \text{kai } y > 0. \end{cases}$$

Tuo atveju, kai yra nelygumų ant bėgio, pasirinkus pagal  $x$  atskaitos tašką pradžioje nelygumo diferencialinę lygtį galima užrašyti taip:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -R(y) \cdot H(y) + Q - m \frac{d^2 \eta(v \cdot t)}{dt^2}, \quad (4.12)$$

kuri teisinga esant  $t \in [0, \ell / v]$ , čia  $\ell$  – nelygumo ilgis.

Toliau teigiama, kad bėgio reakcija į įlinkį  $y$  atitinka tampriai plastiško kūno reakciją ir gali būti išreikšta taip:

$$R(y) = \beta \frac{dy}{dt} + ky. \quad (4.13)$$

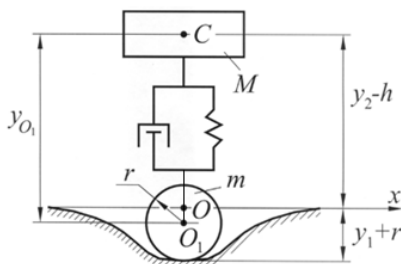
čia  $\beta$  – slopinimo koeficientas.

Įvertinant tiksliau, ši reakcija priklauso ir nuo vietos, kurioje ratas kontaktuoja su bėgiu (tarp pabėgių ar ties pabėgiu), tuomet vietoje (4.13) naudojama išraiška:

$$R(y, x) = \left( \beta \frac{dy}{dt} + ky \right) \cdot \varphi(x), \quad (4.14)$$

čia  $\varphi(x)$  – periodinė funkcija, kurios periodas lygus atstumui tarp pabėgių.

Siekiant sudaryti rato ir bėgio sąveikos matematinį modelį, labiau atitinkantį realias sąlygas, toliau nagrinėjama skaičiavimo schema, pavaizduota 4.6 pav.



**4.6 pav.** Rato ir bėgio kontakto skaičiavimo schema su tamproji pakaba  
**Fig. 4.6.** Wheel-rail contact calculation scheme with an elastic suspension

$y_1$ , kaip ir anksčiau, žymimas bėgio įlinkis sąlyčio su ratu vietoje, o  $y_2 - h$  – kūno  $C$  masės centro koordinatė, tuomet teigiant, kad:

$$y = \frac{m(y_1 + r) + M(y_2 - h)}{m + M}, \quad (4.15)$$

sudaroma tokia diferencialinių lygčių sistema:

$$m \frac{d^2 y_1}{dt^2} = -R(y_1, x) \cdot H(y_1) + R_1(y_2) + mg, \quad (4.16)$$

$$(m + M) \frac{d^2 y}{dt^2} = -R(y_1, x) \cdot H(y_1) + (m + M)g, \quad (4.17)$$

čia:  $M$  – kūno  $C$  masė;  $r$  – rato spindulys;  $R_1(y_2)$  – tampriosios pakabos reakcija, kurią galima išreikšti taip:

$$R_1(y_2) = \beta_1 \frac{dy_2}{dt} + k_1 y_2. \quad (4.18)$$

Iš (4.15) randama  $y_2$ :

$$y_2 = \frac{y - \alpha(y_1 + r) + \beta h}{\beta},$$

čia  $\alpha = m / (M + m)$ ;  $\beta = M / (M + m)$ .

Dabar įstačius  $y_2$  į (4.16) ir (4.17) lygtis, gaunama tokia diferencialinių lygčių sistema:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 y_1}{dt^2} = -R(y_1, x)H(y_1) + R_1 \left( y_1 - r - h - \frac{y - \alpha(y_1 + r)}{\beta} \right) + mg; \\ (m + M) \frac{d^2 y}{dt^2} = -R(y_1, x)H(y_1) + (m + M)g, \end{cases}$$

kuri aprašo rato ir bėgio sąveiką, kai nėra nelygumų nei ant bėgio, nei ant rato riedėjimo paviršiaus.

(4.10) lygtis užrašoma pavidalu:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + 2n \frac{dz}{dt} + p_2 \cdot z = g,$$

čia:  $z$  – transformuotas vertikalusis poslinkis;  $n$  – slopinimo koeficientas;  $p_2$  – standumo koeficientas.

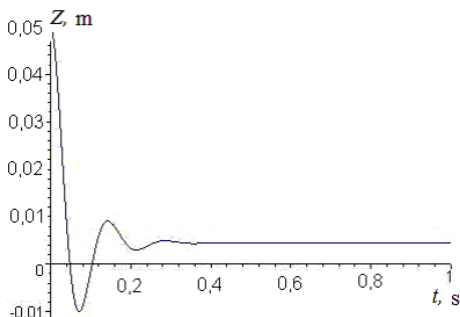
Bendrasis sprendinys analitine forma gaunamas toks:

$$\begin{aligned} z(t) = & \frac{1}{2} \frac{e^{\left( (-n + \sqrt{n^2 - p_2}) t \right)} \left( -ng + np_2 - \sqrt{n^2 - p_2} g + \sqrt{n^2 - p_2} p_2 \right)}{\sqrt{n^2 - p_2} p_2} + \\ & \frac{1}{2} \frac{e^{\left( (-n - \sqrt{n^2 - p_2}) t \right)} \left( ng - np_2 - \sqrt{n^2 - p_2} g + \sqrt{n^2 - p_2} p_2 \right)}{\sqrt{n^2 - p_2} p_2} + \frac{g}{p_2}. \end{aligned}$$

Teigiant, kad  $n = 5$ ,  $p_2 = 500$ ,  $g = 9,8$ , šis sprendinys įgaus tokią formą:

$$z(t) = -\frac{1}{475000} e^{((-5+\sqrt{-475})t)} (2451,0 + 490,2\sqrt{-475})\sqrt{-475} - \frac{1}{475000} e^{((-5-\sqrt{-475})t)} (-2451,0 + 490,2\sqrt{-475})\sqrt{-475} + 0,0196.$$

Šio sprendinio grafinė interpretacija pateikta 4.7 pav.



**4.7 pav.** (4.10) lygties sprendimo grafikas  
**Fig. 4.7.** The decision graph of equation (4.10)

Tokie skaičiavimai atlikti esant sužadinimo funkcijoms su skirtingomis pradinėmis sąlygomis:

$$y(t_0) = 0 \text{ ir } y'(t_0) = z'(t_0),$$

čia  $t_0$  – minimalus laikas, kai  $y(t)$  lygi 0.

Išsamesnė analizė atlikta Dailidkos, Lingaičio, Myamlin, Prichodko darbe (2008a).

Naudodami diferencialinių lygčių sprendimo metodų sprendinius (analogiškus 4.7 pav.), kurie rodo, kad skaičiuojant dinامينius procesus, vykstančius geležinkelio riedmenyse, būtina vertinti kontaktą tarp rato ir bėgio kaip nestabilų, darantį labai didelę įtaką eksploataciniams parametrams. Kuo didesnis greitis, tuo ši įtaka didesnė. *Tai labai svarbu parenkant važiuokles šių dienų riedmenims, kai didėjant greičiams keliama vis aukštesni reikalavimai keleivių komfortui.*

Pagrindinis reikalavimas parenkant vienus ar kitus spyruoklių komplektų standumo dydžius turi būti galimybė realizuoti šiuos pakabos parametrus. Be to, vertikalūs pakabos standumai papildomai ribojami gretimų važiuoklių automati- nių sankabų leidžiamu aukščių skirtumu.

Šie ribojimai bus akivaizdūs galutinai parenkant pakabos parametrų reikšmes. Kol kas nustatyti sąlygoms, kuriomis reikia atlikti optimizavimo skaičiavimus, parenkamas gana platus parametrų diapazonas:

1. Standumo ( $K$ ), kurio diapazonas 0–60 000 kN/m.
2. Klampumo ( $V$ ), kurio diapazonas 0–100 kNs/m.
3. Trinties koeficientai ( $F$ ), kurių diapazonas 0,01–0,25.

Tikslo funkcija, aprašoma (4.8) išraiška, priklauso nuo daugelio parametrų, todėl reikia tikėtis, kad šia funkcija aprašomas paviršius bus gana sudėtingos formos. Bendru atveju šis paviršius turės daugybę lokaliųjų minimumų. Reiškia, norint nustatyti optimalius parametrus, reikia pirmiau surasti sritis, kuriose išdėstyti lokaliniai minimumai. Jeigu tokia sritis turi ne vieną lokalinį minimumą, tai optimalių parametrų paieškos rezultatas priklausys nuo pradinių reikšmių. Šiame etape judesio greičiams nustatyti, kuriems esant reikėtų ieškoti optimalių važiuoklės pakabos pakopų parametrų, imamos vežimėlio CNII-Ch3 parametrų standartinės reikšmės (4.4 lentelė).

**4.4 lentelė.** Vežimėlio CNII-Ch3 važiuoklės parametrai

**Table 4.4.** Carriage CNII-Ch3 chassis parameters

Važiuoklės parametrai	Išilginė kryptis	Skersinė kryptis	Vertikaloji kryptis
Ašidėžių pakaba	$K_{ax} = 0$ kN/m $F_{ax} = 0,25$	$K_{ay} = 0$ kN/m $F_{ay} = 0,25$	$K_{az} = 20\,000$ kN/m $V_{az} = 100$ kNs/m
Centrinė pakaba	$K_{cx} = 6000$ kN/m $F_{cx} = 0,25$	$K_{cy} = 6000$ kN/m $F_{cy} = 0,1$	$K_{cz} = 4000$ kN/m $F_{cz} = 0,1$
Šliaužikliai	$K_{sx} = 0$ kN/m $F_{sx} = 0,125$	$K_{sy} = 0$ kN/m $F_{sy} = 0,125$	$K_{sz} = 800$ kN/m $V_{sz} = 0$ kNs/m

### 4.2.2. Judesio greičio parinkimas

Pradžioje reikia atsakyti į klausimą apie greičio parinkimą skaičiavimams, sprendžiant optimalių važiuoklės parametrų paieškos uždavinius. Tam atliekama optimalių parametrų paieška esant skirtingiems važiavimo greičiams, kai pradiniai parametrai tokie patys, kurie pasirinkti pirmiau. Apskaičiuojami optimalūs parametrai, kai važiavimo greitis  $v = 60$  km/h.

Optimalių parametrų paieškos rezultatai pateikti 4.5 lentelėje.

Ašidėžių pakabos optimalios parametrų reikšmės skirtingomis kryptimis:

- išilgine kryptimi  $K_{ax} = 0$ ,  $F_{ax} = 0,25$ ;
- skersine kryptimi  $K_{ay} = 0$ ,  $F_{ay} = 0,19$ ;
- vertikaliaja kryptimi  $K_{az} = 15\,530$ ,  $V_{az} = 100$ .

4.5 lentelė. Pagrindiniai dinaminiai rodikliai

Table 4.5. The main dynamic indicators

	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{avc}$	Tikslo funkcija
Esant pradinėms parametų reikšmėms	0,327	0,218	2,399	0,33	0,27943
Esant optimalioms parametų reikšmėms	0,287	0,183	3,21	0,286	0,10732
Skirtumas, %	-12	-16	34	-13	-62

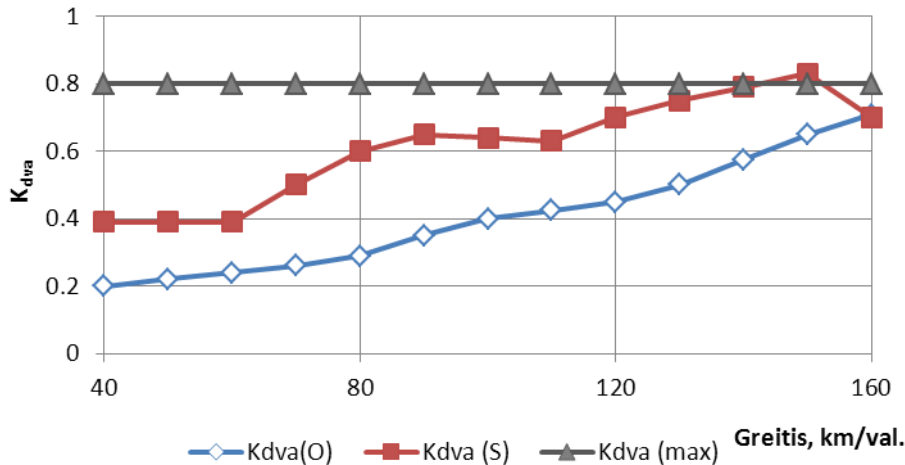
Centrinės pakabos optimalios parametų reikšmės skirtingomis kryptimis:

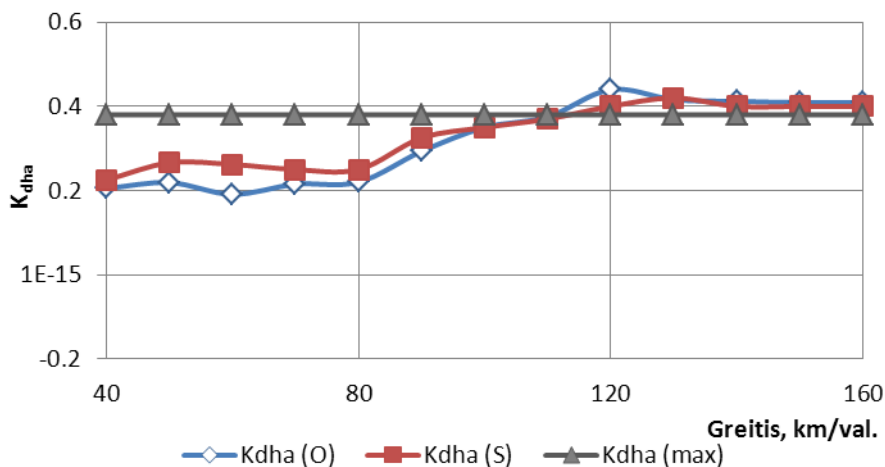
- išilgine kryptimi  $K_{cx} = 5750$ ,  $F_{cx} = 0,165$ ;
- skersine kryptimi  $K_{cy} = 10700$ ,  $F_{cy} = 0,016$ ;
- vertikaliaja kryptimi  $K_{cz} = 2620$ ,  $F_{cz} = 0,116$ .

Šliaužiklių optimalios parametų reikšmės skirtingomis kryptimis:

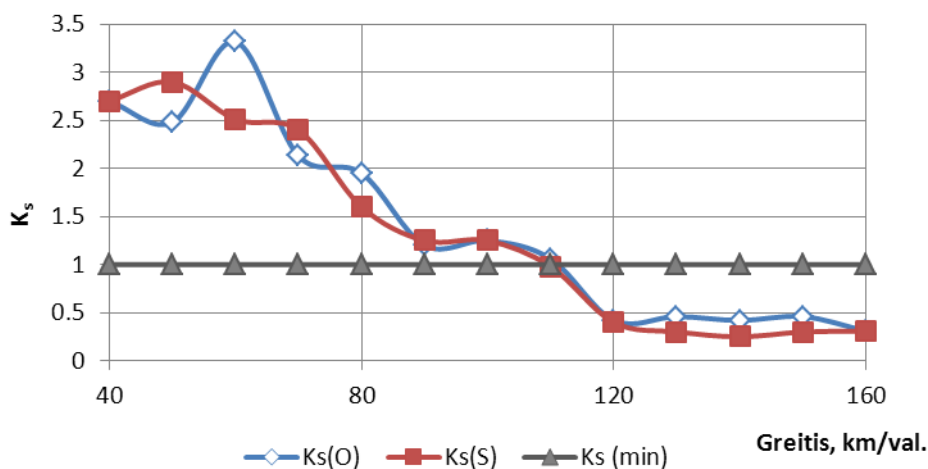
- išilgine kryptimi  $K_{sx} = 0$ ,  $F_{sx} = 0,12$ ;
- skersine kryptimi  $K_{sy} = 0$ ,  $F_{sy} = 0,105$ ;
- vertikaliaja kryptimi  $K_{sz} = 290$ ,  $V_{sz} = 0$ .

Grafinis  $K_d$  ir  $K_s$  kitimas parodytas 4.8, 4.9 ir 4.10 pav.

4.8 pav. Ašidėžės pakabos koeficientas  $K_{dva}$ Fig. 4.8. Axle-box suspension coefficient  $K_{dva}$



4.9 pav. Ašidėžės pakabos koeficientas  $K_{dha}$   
 Fig. 4.9. Axle-box suspension coefficient  $K_{dha}$



4.10 pav. Stovumo (pastovumo) koeficientas  $K_s$   
 Fig. 4.10. Stability coefficient  $K_s$

Iš 4.8–4.10 pav. pateiktų skaičiavimo rezultatų matyti, kad pasirinkto vežimėlio tiek su standartiniais (S), tiek su optimizuotais (O) parametrais ribinis važiavimo greitis yra 100 km/h. Jį riboja koeficientas  $K_s$ . Toliau rodomi skaičiavimo rezultatai, kai greitis  $v = 140$  km/h (4.6 lentelė).

**4.6 lentelė.** Pagrindiniai dinaminiai rodikliai**Table 4.6.** The main dynamic characteristics

	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{avc}$	Tikslo funkcija
Esant pradinėms parametų reikšmėms	0,548	0,254	1,213	0,536	0,897
Esant optimalioms parametų reikšmėms	0,349	0,223	2,289	0,373	0,418
Skirtumas, %	-36	-12	89	-30	-53

Ašidėžių pakabos optimalios parametų reikšmės skirtingomis kryptimis:

- išilgine kryptimi  $K_{ax} = 0$ ,  $F_{ax} = 0,23$ ;
- skersine kryptimi  $K_{ay} = 0$ ,  $F_{ay} = 0,23$ ;
- vertikaliaja kryptimi  $K_{az} = 18200$ ,  $V_{az} = 93$ .

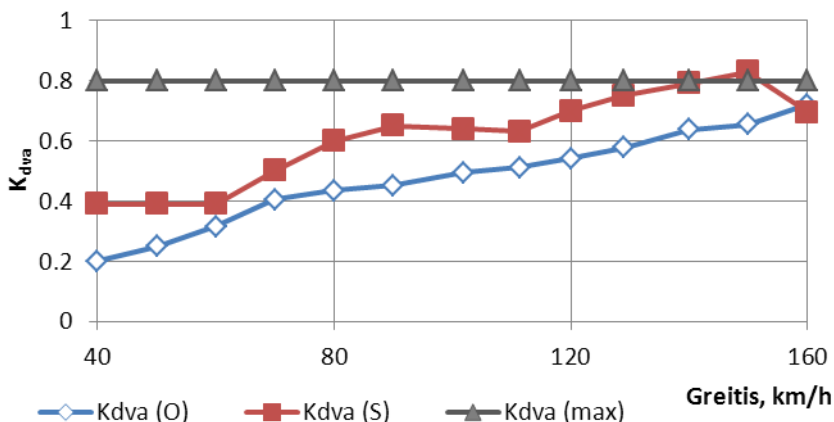
Centrinės pakabos optimalios parametų reikšmės skirtingomis kryptimis:

- išilgine kryptimi  $K_{cx} = 5470$ ,  $F_{cx} = 0,23$ ;
- skersine kryptimi  $K_{cy} = 5490$ ,  $F_{cy} = 0,09$ ;
- vertikaliaja kryptimi  $K_{cz} = 3490$ ,  $F_{cz} = 0,09$ .

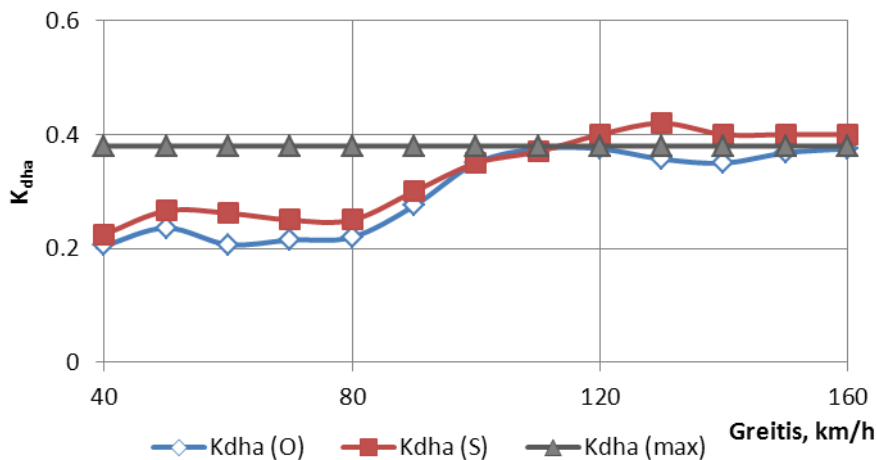
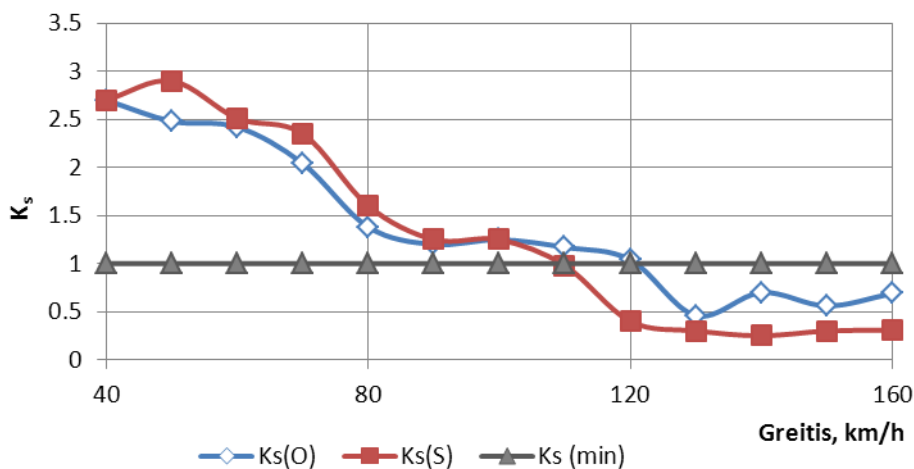
Šliaužiklių optimalios parametų reikšmės skirtingomis kryptimis:

- išilgine kryptimi  $K_{sx} = 0$ ,  $F_{sx} = 0,12$ ;
- skersine kryptimi  $K_{sy} = 0$ ,  $F_{sy} = 0,12$ ;
- vertikaliaja kryptimi  $K_{sz} = 748$ ,  $V_{sz} = 0$ .

Grafinis  $K_d$  ir  $K_s$  kitimas parodytas 4.11, 4.12 ir 4.13 pav.

**4.11 pav.** Ašidėžės pakabos koeficientas  $K_{dva}$ **Fig. 4.11.** Axle-box suspension coefficient  $K_{dva}$



4.12 pav. Ašidėžės pakabos koeficientas  $K_{dha}$ Fig. 4.12. Axle-box suspension coefficient  $K_{dha}$ 4.13 pav. Stovumo koeficientas  $K_s$ Fig. 4.13. Stability coefficient  $K_s$ 

Esant šiam greičiui nepasisekė pasiekti leistinųjų  $K_{dha}$  ir  $K_s$  reikšmių. Tokie skaičiavimai buvo atlikti esant 60, 80, 110, 120 ir 140 km/h greičiams.

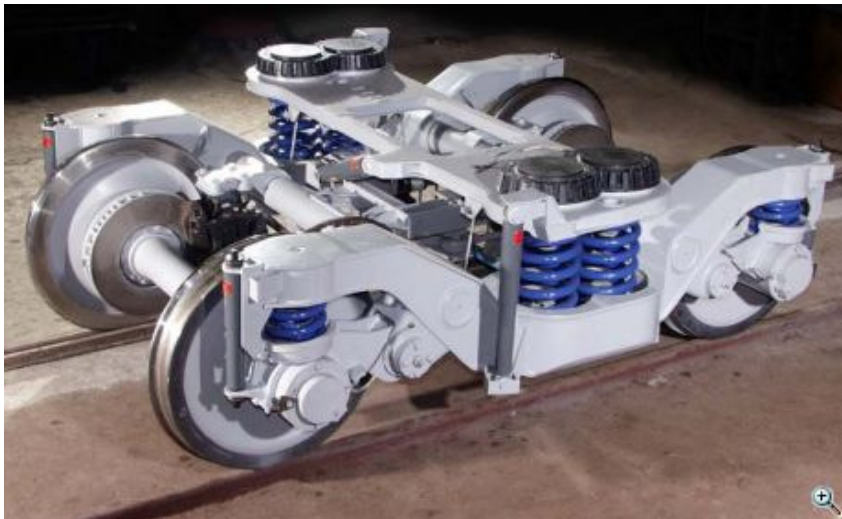
**Išvada.** Atliktų skaičiavimų rezultatų analizė parodė, kad nustatant optimalius važiuoklių pakabų parametrus, pagrindiniu rodikliu tikslo funkcijoje reikia

laikyti stovumo koeficientą, nes šis parametras pirmasis riboja važiavimo greitį. Skaičiuoti reikėtų imant mažiausią greitį, kuriam esant dinaminių rodiklių reikšmės viršija leistinąsias ribas. Toliau reikia ieškoti sprendinių su kitomis pradinių parametru reikšmėmis, kiekvieną kartą nustatant minimalų greitį, kuriam esant dinaminių rodiklių reikšmės viršija leistinąsias ribas. Ši metodika labai svarbi skaičiuojant važiuoklės parametrus nuolat augant traukinių greičiams.

#### 4.2.3. Optimalių vežimėlio pakabos parametru parinkimas

Taigi, projektuojant naujus ir tobulinant esamus keleivinius vagonus, būtina iš anksto įvertinti dinamines jų savybes. Dinaminių apkrovų mažinimo keleiviniuose vagonuose lemiamas veiksnys, leidžiantis didinti ir greičius, yra racionalus pakabos pakopų parinkimas (Мямлин 2003b; Мямлин 2002a; Манашкин, Мямлин, Приходько 2007).

Viena iš pažangiausių pakabų (Мямлин 2003b; Манашкин, Мямлин, Приходько 2007), kuri intensyviausiai slopina virpesius, yra pneumatinė pakaba. Todėl bandoma nustatyti centrinės vežimėlio 68-7007 (4.14 pav.) pakabos parametrus siekiant tobulinti spyruoklių pakabos slopinimo savybes siekiant eksploatacinio greičio iki 300 km/h.



4.14 pav. 68-7007 modelio dviejų ašių vežimėlis

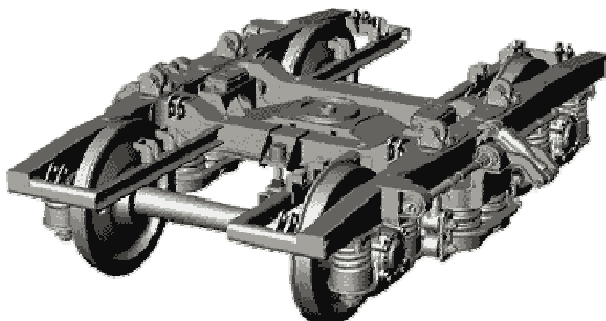
Fig. 4.14. Two-axle carriage 68-7007

Sudaryta ir išnagrinėta daug atskirų virpesių slopintuvų bei amortizatorių ir sudėtingesnių bėginių vežimėlių konstrukcijų matematinių modelių (Мямлин

2003b; Николаев 2003; Манашкин, Мямлин, Приходько 2007). Buvo bandymai patobulinti erdvinius keleivinių vagonų matematinius modelius (Мямлин, Приходько, Жижко 2007). Tačiau būtent pneumatinės pakabos optimalūs parametrai nebuvo nustatinėjami. Įvertinus keleivinių vagonų tobulinimo tendencijas, pneumatinių pakabų parametrų nustatymas yra labai svarbus geležinkelių transportui.

Pradžioje būtina parinkti sužadinimus (nelygumus), veikiančius nuo kelio. Jie bus naudojami nustatant optimalius vežimėlio pneumatinių pakabų parametrus. Norint parinkti nelygumų lygtį, reikia atlikti judesio modeliavimą tiesiniame kelyje. Nelygumų amplitudė nustatoma tokia, kad dinaminiai rodikliai neviršytų leistinų ribų iki šiuo metu nustatyto maksimalaus keleivinių traukinių važiavimo greičio, t. y. 120 km/h.

Jeigu nagrinėjamas keleivinis vagonas su vežimėliu KVZ-CNII (4.15 pav.), jis atitiks eksploatacijos sąlygas. Nors sužadinimų intensyvumas bus šiek tiek padidintas, tačiau tai gali būti priskiriama eismo saugumo atsargai.



4.15 pav. KVZ-CNII modelio keleivinio vagono vežimėlis

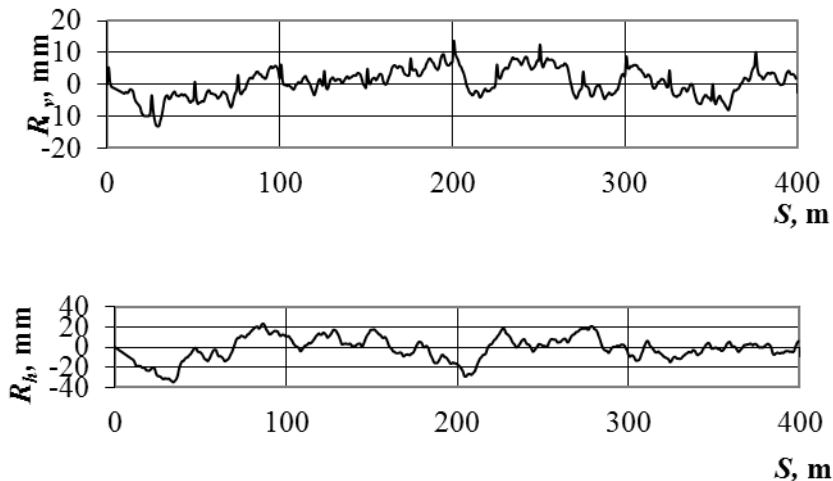
Fig. 4.15. Carriage KVZ-CNII

Keleivinių vagonų dinaminių rodiklių leistinosios reikšmės pateiktos 4.7 lentelėje. Kelio nelygumų oscilogramos tiesiniame ruože pateiktos 4.16 pav.

4.7 lentelė. Keleivinių vagonų dinaminių rodiklių leistinosios reikšmės

Table 4.7. Carriages allowed values of dynamic parameters

Rodiklis	Dydis
Kėbulo rėmo vertikaliosios dinamikos koeficientas $K_{dvc}$	0,20
Vežimėlio rėmo vertikaliosios dinamikos koeficientas $K_{dva}$	0,35
Vežimėlio rėmo horizontaliosios dinamikos koeficientas $K_{dh}$	0,24
Tolygios eigos rodikliai vertikaliojoje $W_v$ ir horizontaliojoje $W_h$ plokštumoje	3,25
Stovumo koeficiento $K_s$ vagono nusidėvėjimui nuo bėgių atsarga, kai tikimybė 0,001	1,80



**4.16 pav.** Kelio nelygumai vertikaliajoje ir horizontaliojoje plokštumose  
**Fig. 4.16.** The road roughness in vertical and horizontal planes

Keleivinių vagonų dinaminiai rodikliai  $K_{dva}$ ,  $K_{dha}$  ir  $K_s$  pateikti 4.17 pav.

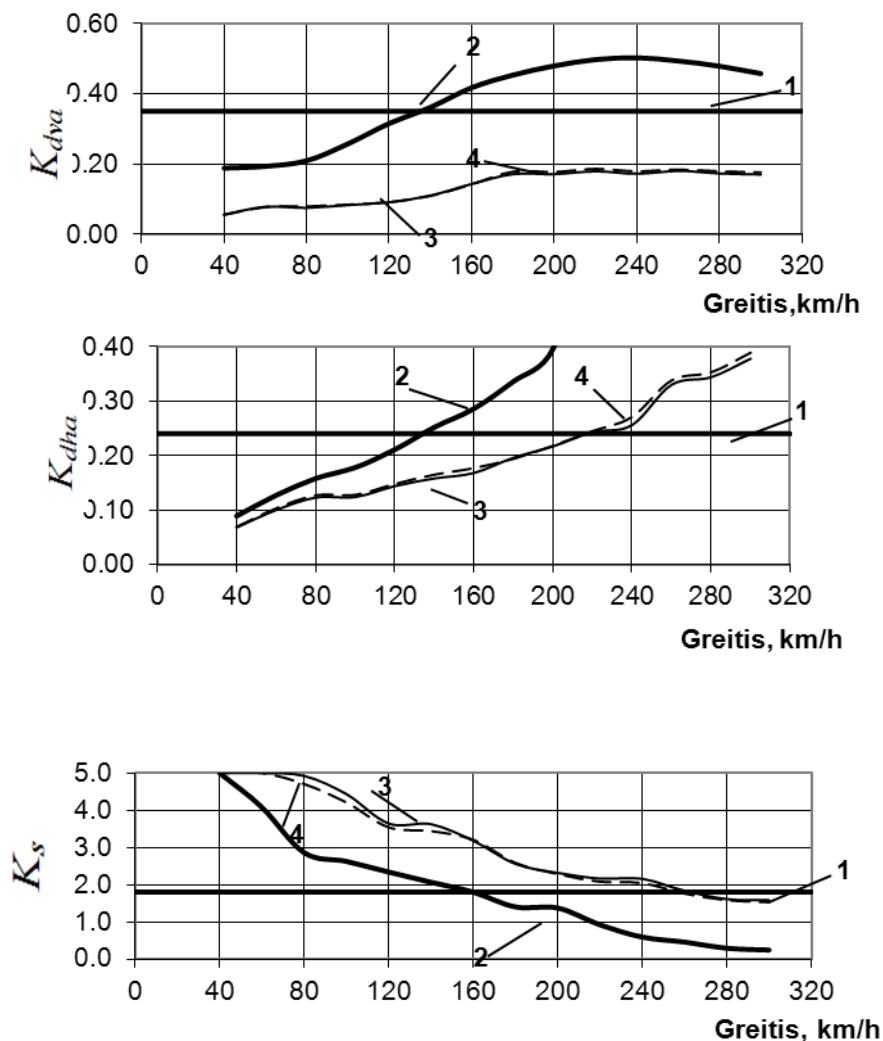
Keleivinių vagonų dinaminiai rodikliai  $K_{dvc}$ ,  $W_v$  ir  $W_h$  pateikti 4.18 pav.

Kaip matyti iš grafikų, visi vagonų su vežimėliais KVZ-CNII dinaminiai rodikliai neviršija leistinųjų ribų esant greičiams iki 120 km/h imtinai. Toliau didinant greitį,  $K_{dva}$  ir  $K_{dha}$  viršija leistinąsias reikšmes.

Vagonų 61-779 (4.19 pav.) ir 61-788 (4.20 pav.) modelių su vežimėliu 68-7007 dinaminių rodiklių reikšmės praktiškai vienodos visame nagrinėtame greičių diapazone.

61-779 ir 61-788 modelių vagonų vertikalios dinamikos rodikliai  $K_{dva}$ ,  $K_{dvc}$  ir  $W_v$  daug mažesni už leistinąsias reikšmes esant greičiams iki 300 km/h.

Vertinant horizontalią dinamiką, tai  $K_{dha}$  reikšmė viršija leistinąją esant 220 km/h greičiui. Kadangi šis rodiklis yra pirmosios pakabos pakopos (ašidėžės), tai prieš pereinant prie antrosios pakabos pakopos (centrinės pneumatinės pakabos) reikia  $K_{dha}$  sumažinti iki leistinosios reikšmės.

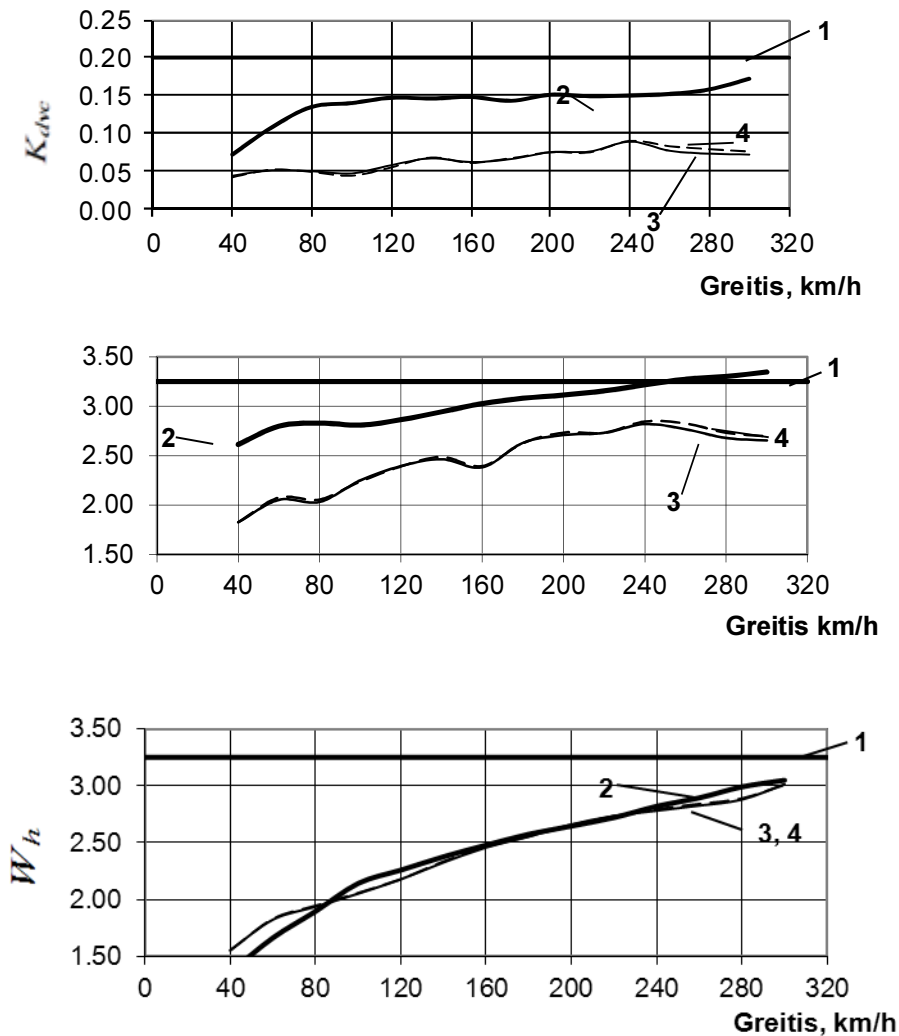


**4.17 pav.** Keleivinių vagonų dinaminiai rodikliai  $K_{dva}$ ,  $K_{dha}$  ir  $K_s$ :

1 – dinaminių rodiklių leistinieji dydžiai; 2 – keleivinių vagonų su KVZ-CNII vežimėliais dinaminių rodiklių reikšmės; 3 – keleivinių vagonų 61-779 modelio su 68-7007 vežimėliais dinaminių rodiklių reikšmės; 4 – keleivinių vagonų 61-788 modelio su 68-7007 vežimėliais dinaminių rodiklių reikšmės

**Fig. 4.17.** Carriages dynamic characteristics  $K_{dva}$ ,  $K_{dha}$  and  $K_s$ :

1 – dynamic variables within limits; 2 – dynamic indicators to the carriages with KVZ-CNII carriages, 3 – dynamic indicators to the carriages 61-779 with 68-7007 carriages, 4 – dynamic indicators to the carriages 61-788 with 68-7007 carriages



**4.18 pav.** Keleivinių vagonų dinaminiai rodikliai  $K_{dve}$ ,  $W_v$  ir  $W_h$

1 – dinaminiai rodiklių leistinieji dydžiai; 2 – keleivinių vagonų su KVZ-CNII vežimėliais dinaminiai rodiklių reikšmės; 3 – keleivinių vagonų 61-779 modelio su 68-7007 vežimėliais dinaminiai rodiklių reikšmės; 4 – keleivinių vagonų 61-788 modelio su 68-7007 vežimėliais dinaminiai rodiklių reikšmės

**Fig. 4.18.** Carriages dynamic characteristics  $K_{dve}$ ,  $W_v$  ir  $W_h$ :

1 – dynamic variables within limits; 2 – dynamic indicators to the carriages with KVZ-CNII trolley; 3 – dynamic indicators to the carriages 61-779 with 68-7007 trolley; 4 – dynamic indicators to the carriages 61-788 with 68-7007 trolley



**4.19 pav.** 61-779 modelio keleivinis vagonas  
**Fig. 4.19.** passenger carriage 61-779



**4.20 pav.** 61-788 modelio keleivinis vagonas  
**Fig. 4.20.** Passenger carriage 61-788

Tam tikslui buvo taikytas Monte Karlo metodas (Соболев 1979).

Dažnai ieškant optimalių ašidėžės ir centrinės pakabos parametrų reikšmių taikomas Nelderio-Mido metodas (Лазарян, Коротенко, Данович 1966; Блохин, Данович, Морозов 1986; Мямлин 2002a) lokaliniais ekstremumams nustatyti. Todėl paieškos rezultatas labai priklauso ne tik nuo tikslo funkcijos paviršiaus tipo, bet ir nuo pradinių parametrų reikšmių, kurių srityje (aplinkoje) ieškomas sprendinys.

Pradžioje būtina ištirti (nustatyti) tikslo funkcijos tipą, o po to tose vietose, kur galima numanyti esantį tikslo funkcijos ekstremumą (minimumą), būtina atlikti paties ekstremumo paiešką. Visam tam reikia didelio skaičiuojamojo darbo, ypač tuomet, kai optimizuojamų parametrų gana daug. Pavyzdžiui, vienu metu ieškant ašidėžės ir centrinės pakabų optimalių parametrų reikšmių, jų yra 12. Ieškant numanomų ekstreminių sričių, būtina atlikti 8–10 skaičiavimų įvairioms kiekvieno parametro reikšmėms ir tik po to kiekvienai „įtartinai“ sričiai rasti ekstremumą. Esant tokiam didžiuliame rezultatų skaičiui ganėtinai sunku

parinkti pačius tinkamiausius. Juo labiau nėra garantijos, kad bus gautas tikrai optimalus sprendinys (kai kurios sritys vienaip ar kitaip liks neištirtos).

Tačiau ieškant ekstremumų naudojami ir apytikriai sprendimo metodai. Vienas iš tokių – Monte Karlo metodas (Соболев 1979). Jo esmė ta, kad optimizuojami parametrai parenkami pasirinktame diapazone atsitiktinai taip, kad tolygiai būtų perdengtas visas diapazonas. Po to iš gautų reikšmių atrenkamos tinkamiausios, kurios griežtai imant nėra optimalios, bet esant pakankamai imčiai artimos joms. Šio metodo privalumas tas, kad jis nereikalauja jokių išankstinių tikslo funkcijos tyrimų.

Atsižvelgiant į anksčiau pasirinktos tikslo funkcijos ypatumus (Блохин, Данович, Морозов 1986; Мямлин 2002a; Вершинский, Данилов, Хусидов 1991) manoma, kad tikslinga būtų spręsti uždavinį didinant ribinį važiavimo greitį, pasirinkus jį dabar jau maksimizuota tikslo funkcija, o dinامينius važiuoklės kokybės rodiklius – kaip veiksnius, lemiančius ribinį važiavimo greitį.

**Dinaminio uždavinio sprendimas.** Šiam uždaviniui spręsti naudojama geležinkelio riedmenų dinامينių procesų modeliavimo programa buvo papildyta modeliu, realizuojančiu Monte Karlo algoritmą optimalių važiuoklės pakabos paremtų paieškai. Šiam metodui realizuoti pirmiausia reikia parinkti efektyvų atsitiktinių dydžių generatorių su tolygiu pasiskirstymu. Tokiu generatoriumi gali būti algoritmas (Соболев 1979). Jis grindžiamas parametru  $s$  kaitos žingsnio parinkimu kaip paprasto skaičiaus kvadratinės šaknies trupmeninės dalies. Po to apskaičiuojamos optimizuojamų parametru reikšmės pagal taisyklę:

$$X_i = X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min}) \cdot \delta_i, \quad (4.19)$$

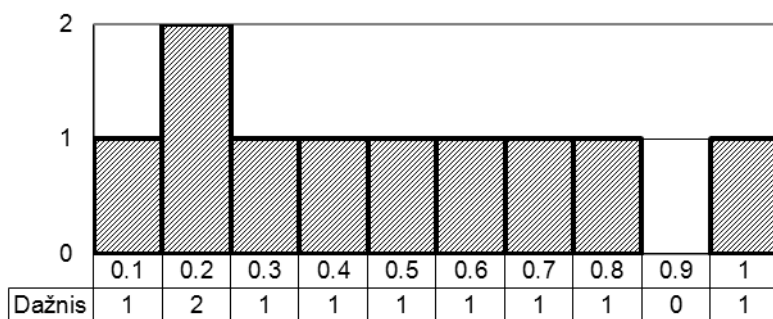
$$\text{čia } \delta_i = \begin{cases} \delta_{i-1} + s, & \text{jeigu } \delta_i < 1 \\ \delta_{i-1} + s - 1, & \text{jeigu } \delta_i > 1 \end{cases}.$$

Siekiant, kad algoritmas efektyviai funkcionuotų, atsitiktinių dydžių  $\delta_i$  seka turi greitai sueiti į tolygiai pasiskirsčiusią eilutę. Algoritmu (4.19) buvo gauta seka atsitiktinių dydžių. 4.21–4.23 pav. pateiktos pirmųjų 10, 50 ir 200 gautų atsitiktinių dydžių histogramos.

Kaip matyti iš pateiktų histogramų, jau po 50 atsitiktinių dydžių jų pasiskirstymo dėsnis artėja prie tolygaus, o po 200 praktiškai jį galima laikyti esant tolygų.

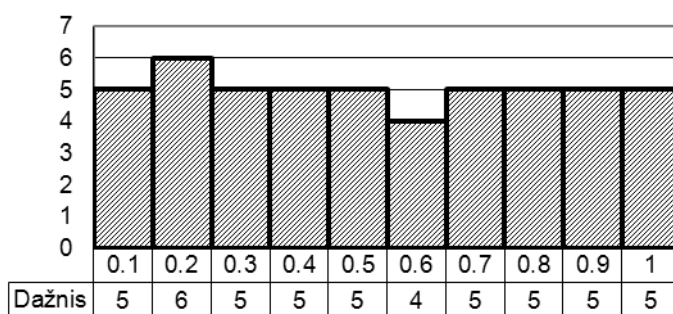
Buvo atlikti vagono modelio 61-779 su vežimėliu 68-7007 skaičiavimai (2000 variantų) ir atrinkta 10 variantų ašidėžės pakabos parametru. Gauti rezultatai pateikti 4.8 lentelėje.





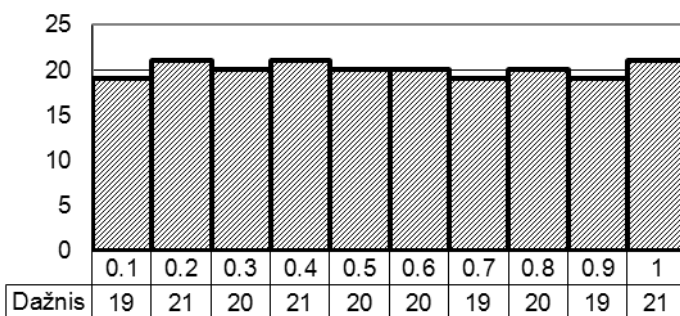
4.21 pav. Pirmųjų 10 atsitiktinių dydžių histograma

Fig. 4.21. The first 10 random variables histogram



4.22 pav. Pirmųjų 50 atsitiktinių dydžių histograma

Fig. 4.22. The first 50 random variables histogram



4.23 pav. Pirmųjų 200 atsitiktinių dydžių histograma

Fig. 4.23. The first 200 random variables histogram

**4.8 lentelė.** Ašidėžės pakabos parametrų variantai esant 300 km/h greičiui

**Table 4.8.** Axle box suspension parameter variations at 300 km/h

Parametrų variantai	$K_{ax}$ , kN/m	$V_{ax}$ , kNs/m	$K_{ay}$ , kN/m	$V_{ay}$ , kNs/m	$K_{az}$ , kN/m	$V_{az}$ , kNs/m
I	1290	27,4	255	12,6	1222	10,1
II	436	99,2	247	7,9	1137	10,9
III	1610	20,8	251	25,5	1791	8,4
IV	1627	26,6	402	19,5	359	20
V	1482	71,9	240	3,2	1051	11,8
VI	756	92,6	243	20,9	1706	9,2
VII	1793	30,9	419	8,7	1731	7
VIII	1802	65,3	236	16,2	1620	10,1
IX	939	3,7	412	4	1645	7,9
X	948	38	228	11,5	1535	11

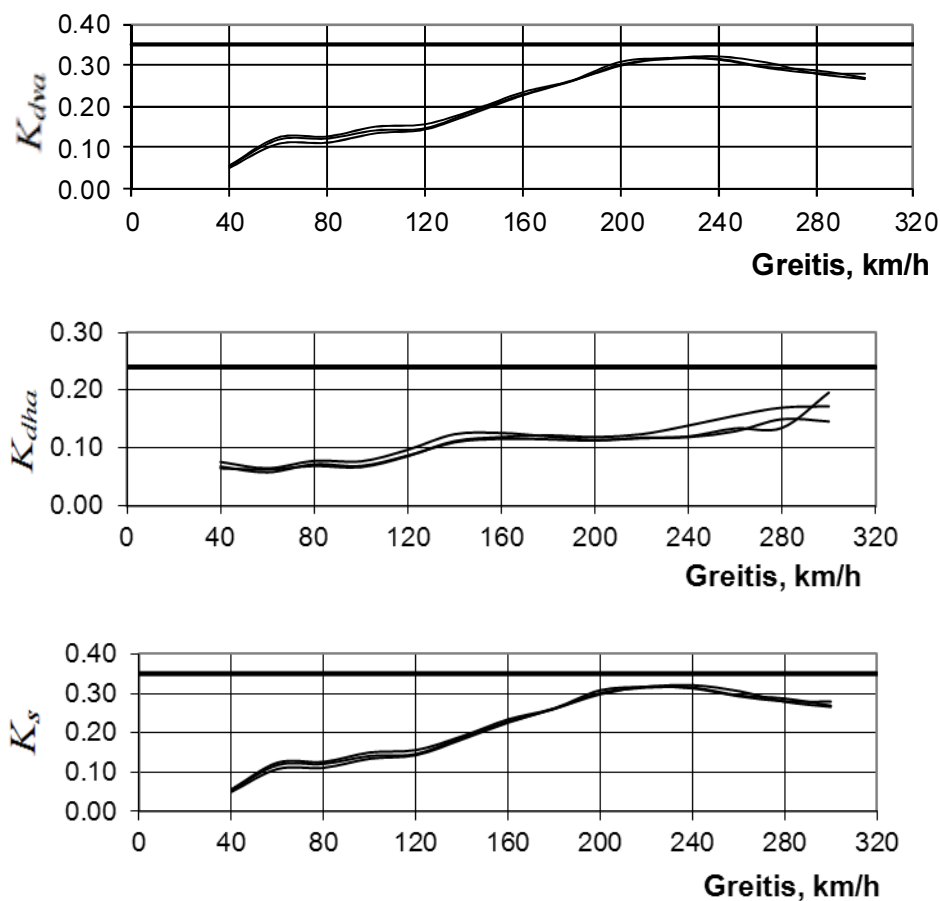
Kadangi nustatant ašidėžių pakabos parametrus buvo atlikti skaičiavimai esant 300 km/h greičiui, būtina atlikti patikrinamuosius skaičiavimus visam greičių diapazonui. Tokių skaičiavimų rezultatas – reikia atmesti tuos variantus, kur dinaminiai rodikliai viršija leistinas ribas, kai važiavimo greičiai mažesni nei 300 km/h.

Patikrinamųjų rezultatų skaičiavimai pateikti priede (L1–L10 lentelėse).

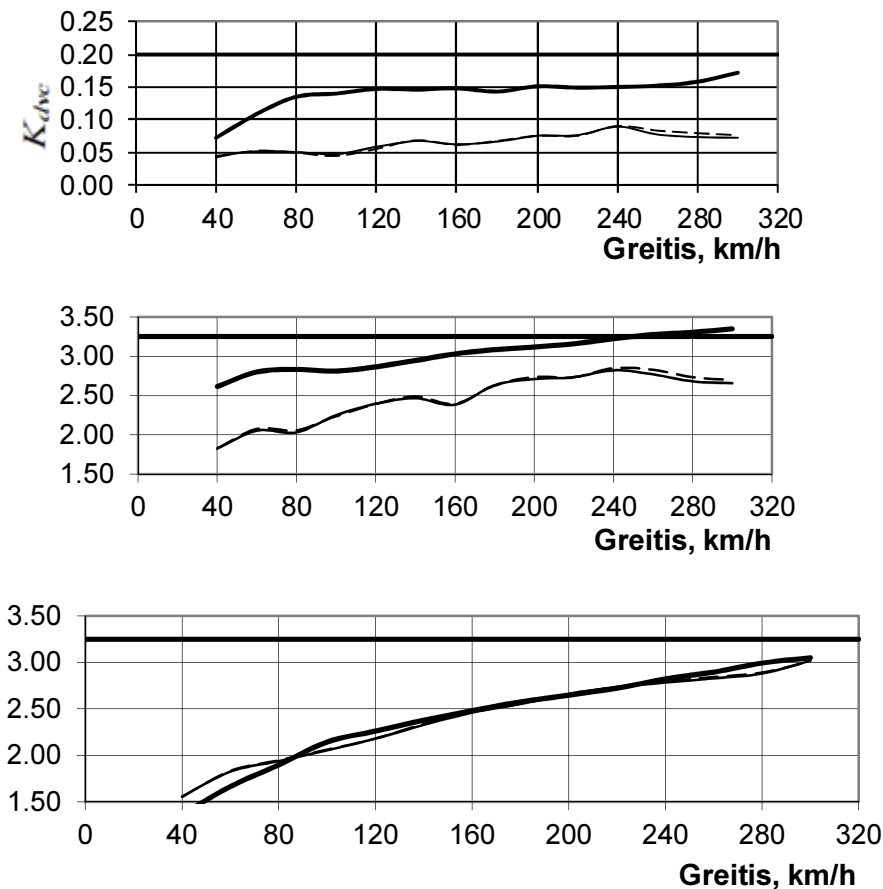
Iš L1–L10 lentelėse pateiktų rezultatų matyti, kad didesnė dauguma parametrų variantų neatitinka ribojimų pagal  $K_{dva}$ . Ribinės  $K_{dva}$  reikšmės, viršijančios leistinąsias ribas, lentelėje pažymėtos pusjuodžiu šriftu. Tinkami tolesniems tyrimams pasirodė trys variantai (I, II ir V). Šiems variantams (4.24 ir 4.25 pav.) parodyti dinaminio rodiklio grafikai. Šie trys variantai mažai skiriasi vienas nuo kito. Nedidelis  $K_s$  ir  $K_{dha}$  reikšmių skirtumas negali būti pirmumo kriterijumi pasirenkant vieną iš jų, nes šių rodiklių reikšmės visiems variantams tolimos nuo leistinųjų reikšmių.

Skaičiuojant programa leido patikrinti ir ratų riedėjimo paviršiaus, ir antbriaunio išsidėvėjimą priklausomai nuo greičio.

*Apibendrinus rezultatus, galima teigti, kad, esant keleivinių vagonų greičiams iki 300 km/h, pirmiausia dėl ratų susidėvėjimo ir išlaidų traukinio traukai labiausiai tinka ašidėžių pakabos parametrai, atitinkantys pirmąjį variantą, pateiktą L1 lentelėje (priedas).*



4.24 pav. 68-779 modelio keleivinių vagonų dinaminiai rodikliai  $K_{dva}$ ,  $K_{dha}$  ir  $K_s$   
 Fig. 4.24. Model 68-779 passenger carriage dynamic indicators  $K_{dva}$ ,  $K_{dha}$  ir  $K_s$



4.25 pav. 68-779 modelio keleivinių vagonų dinaminiai rodikliai  $K_{dvc}$ ,  $W_v$  ir  $W_h$   
 Fig. 4.25. Model 68-779 passenger carriage dynamic indicators  $K_{dvc}$ ,  $W_v$  ir  $W_h$

#### 4.2.4. Pakabos elementų tikrinimas

Pagal galiojančias normas (Нормы для расчета... 1996) būtina atlikti naujos vežimėlio pakabos įvertinimą esant atitinkamiems (maksimaliems) greičiams. Paprastai būtina nustatyti standumus, įlinkius, įtempius pakabos spyruoklėse, stovumus, kai ašies apkrova į bėgį yra 161,865 kN.

Atliekami centrinės 68-7007 vežimėlio pakabos pagal I ir III režimus skaičiavimai. Eksploatuojant keleivinius vagonus, I režimą atitinka avariniai susidūrimai manevruojant arba vagonų susidūrimai nestandartinėse situacijose, taip pat avarinis vagono šuolis (smūgis), kai jis yra prikabinas prie krovininio traukinio.

Skaičiuojant pagal III režimą įvertinamas dažnai galimas vidutinių apkrovų reikšmių derinys, kuris būdingas judančio traukinio vagonui.

Pagrindinis reikalavimas – neleisti subyrėti mazgams ir detalėms dėl nuovargio. Leistinieji įtempiai parenkami atsižvelgiant į medžiagų nuovargio ribas, įvertinant kartu veikiančias kvazistatines, vibracines ir smūgines jėgas, korozijos poveikį ir pan. Eksploatacijos sąlygomis III skaičiuojamasis režimas atitinka atvejus, kai vagonas juda traukinyje kelio tiesėmis ir kreivėmis, per iešmus leidžiamu greičiu ir periodiškai atliekamas pakopinis stabdymas, kai veikia norminiai trūkčiojimai ir pastūmimai, kitaip tariant, kai visi vagono mazgai ir mechanizmai dirba norminiu režimu.

Atliekami naujos konstrukcijos 68-7007 vėžimėlio centrinės pakabos skaičiavimai. Skaičiavimo seka ir rezultatai pateikti 4.9 ir 4.10 lentelėse.

**4.9 lentelė.** Atsparumo skaičiavimas I režimu

**Table 4.9.** I mode strenght counting

Formulė	Pavadinimas	Skaičiuojamieji duomenys
1	2	3
<b>Statinė vienos spyruoklės apkrova</b>		
$P_{st} = \frac{(m_{br} - m_{vėž})9,81}{kn}$	$m_{br} = 66$ t – vagono masė bruto; $m_{vėž} = 13,2$ t – vėžimėlio masė; $k = 2$ – vėžimėlių skaičius; $n = 4$ – spyruoklių skaičius	64745 kN
<b>Spyruoklių duomenys</b>		
	$d = 0,043$ m – strypelio skersmuo; $D = 0,252$ m – spyruoklės vidutinis skersmuo; $n = 8,6$ – darbo vijų skaičius	
$H_{sus} = d(n+1) + 0,003$	Suspaustos spyruoklės aukštis	0,416 m
$C_v = \frac{Gd^4\Psi}{8D^3n}$	Suspaustos cilindrinės spyruoklės vertikalusis standumas: $G = 8 \cdot 10^4$ MPa – šlyties modulis; $\Psi$ – koeficientas, $\Psi \approx \cos^2 \alpha$ , čia $\alpha = 3,76^\circ$ – apkrautos spyruoklės sraigtinės linijos pokylio kampas	245,254 kN
$C_c = \frac{D}{d}$	Centrinės spyruoklės indeksas	5,86
$f_{st} = \frac{P_{st}}{C_v}$	Įlinkio dydis nuo statinės apkrovos	0,264 m
$f_p = Kf_{st}$	Didžiausias skaičiuojamasis įlinkis	0,392 m
$H_{lb} = H_{sus} + f_p$	Spyruoklės aukštis esant laisvos padėties	0,812 m

## 4.9 lentelės pabaiga

1	2	3
<b>Įtempiai spyruoklėje nuo vertikaliosios apkrovos</b>		
$\tau_v = \frac{8P_p D \xi}{\pi d^3}$	Centrinės pakabos spyruoklės skaičiavimas stiprumui nuo vertikaliosios apkrovos:	
$P_p = C_v f_p$	Vertikaloji skaičiuojamoji jėga: $C_v = 245,254 \text{ kN/m}$ – spyruoklės vertikalusis standumas; $f_p = 0,396 \text{ m}$ – maksimalus skaičiuojamasis spyruoklės įlinkis	97,121 kN
$\xi = 1 + \frac{1,250}{C_c} + \frac{0,875}{C_c^2}$	Pataisos koeficientas	1,239
$\tau_v$	Įtempiai spyruoklėje	971 MPa
Leistinieji įtempiai spyruoklėje (plienas 65C2BA) $\tau < [\tau] = 1133 \text{ MPa}$ . Skaičiuojamieji įtempiai spyruoklėje $\tau_v = 971 \text{ MPa}$ . $971 < 1133$ .		

## 4.10 lentelė. Atsparumo skaičiavimas III režimu

Table 4.10. III mode strenght counting

Formulė	Pavadinimas	Skaičiuojamieji duomenys
1	2	3
<b>Vienos spyruoklės apkrova</b>		
$P = P_{st} + P_{din} + 0,5P_{\text{son}}/4$	$P_{st} = 64,746 \text{ kN}$ – statinė vienos spyruoklės apkrova ;	
$P_{din} = P_{st} K_{dv}$	Vertikali dinaminė spyruoklės apkrova	12,3 kN
$P_{\text{son}} = 0,1P_{st}$	Dalis šoninės jėgos, veikiančios vieną spyruoklę	6,475 kN
$K_{dv} = \frac{\bar{K}_{dv}}{\beta} \sqrt{\frac{4}{\pi}} \ln \frac{1}{1 - P(K_{dv})}$	Vertikalios dinamikos koeficientas: $\beta$ – keleivinių vagonų pasiskirstymo parametras, $\beta = 1$ ; $P(K_{dv}) = 0,97$ – patikimumo tikimybė, skaičiuojant pagal leistinius įtempius	0,19

4.10 lentelės tęsinys

1	2	3
$\bar{K}_{dv} = a + 3,6 \cdot 10^{-4} b \frac{v^{15}}{f_{st}}$	Vertikalios dinamikos koeficiento vidutinė tikimybinė reikšmė: $a = 0,05$ –kėbulo elementų koeficientas; $v = 44,44$ m/s – skaičiuojamasis judesio greitis; $f_{st} = 0,0479$ – pakabos statinis įlinkis	0,09
$b = \frac{n+2}{2n}$	Koeficientas, įvertinantis ašių skaičių $n$ vežimėlyje	1
$P_{III} = P_{st} + P_{din} + P_{son}/2$	Apkrova, tenkanti spyruoklei	83,523 kN
<b>Įtempiai spyruoklėje nuo vertikaliosios apkrovos</b>		
$\tau_v = \frac{8P_p D \xi}{\pi d^3}$	Spyruoklės stiprumo skaičiavimas nuo vertikaliosios apkrovos: $P_p$ – vertikalioji skaičiuojamoji jėga	
$\xi = 1 + \frac{1,250}{C_c} + \frac{0,875}{C_c^2}$	Pakabos koeficientas	1,239
$\tau_v$	Įtempiai spyruoklėje	835 MPa
<b>Horizontalusis spyruoklės standis</b>		
$C_h = \frac{3Ed^4}{8Dn[H^2(2+\mu)+3D^2]}$	Cilindrinis spyruoklės horizontalusis standis, kai vienu metu ją veikia horizontalioji ir vertikalioji apkrovos: $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Pa – spyruoklės medžiagos tamprumo modulis; $\mu = 0,3$ – Puasono koeficientas	
$H = H_{lb} - d - f_p$	Spyruoklės aukštis veikiant vertikaliam apkrovai	0,43 m
$C_h$	Spyruoklės horizontalusis standis	201,743 N/m
<b>Įtempiai spyruoklėse nuo horizontaliosios apkrovos</b>		
$\tau_h = \frac{5T}{xd^3} \xi' \operatorname{tg} \frac{xH}{2}$	Cilindrinė sraigtinė spyruoklė nuo horizontaliosios jėgos: $T$ – skaičiuojamoji horizontalioji jėga, veikianti spyruoklę, nustatoma kaip 50 % šoninės vagono jėgos; $H$ – spyruoklės, apkrautos vertikaliąja apkrova, aukštis	

4.10 lentelės pabaiga

1	2	3
$\xi' = 1 + \frac{0,63}{C_c} + \frac{0,35}{C_c^2}$	Pataisos koeficientas	1,118
$T = \frac{0,1(m_{br} - m_{vež})9,81}{4}$	Skaičiuojamoji šoninė jėga, veikianti vieną spyruoklę: $m_{br} = 66$ t – vagono bruto masė; $m_{vež} = 13,2$ t – vežimėlio masė; $n_m = 4$ – spyruoklių skaičius vežimėlyje	6,475 kN
$\delta = \frac{T}{C_h}$	Spyruoklės horizontalus įlinkis	0,032 m
$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H}{\pi D n}$	Sraigtinės linijos pokylio kampas, esant suspaustai spyruoklei	0,0632 rad
$I = \frac{\pi d^4}{64}$	Strypelio inercijos momentas lenkiant	$1,67 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$
$\eta = \frac{2 + \mu \cos^2 \alpha}{2 \sin \alpha}$	Koeficiento $\eta$ reikšmė	18,199
$B = \frac{EI}{\eta}$	Koeficiento $B$ reikšmė	1927,03 m <sup>2</sup>
$S = \frac{8EI \cdot \operatorname{tg} \alpha}{D^2}$	Koeficiento $S$ reikšmė	$2,79 \cdot 10^5 \text{ N}$
$X = \sqrt{\frac{P_p}{B \left(1 - \frac{P_p}{S}\right)}}$	Koeficiento $X$ reikšmė	7,87 1/m
$\tau_h$	Įtempiai spyruoklėje nuo horizontaliosios apkrovos	–475 MPa
$\tau = \tau_v + \tau_h$	Suminiai įtempiai centrinės pakabos spyruoklėje pagal III režimą	360 MPa
Suminiai leistinieji įtempiai spyruoklėje (plienas 65C2BA) $[\tau] = 1133 \text{ MPa}$ . Suminiai skaičiuojamieji įtempiai spyruoklėje $\tau = 360 \text{ MPa}$ . $\tau < [\tau]$ .		

Reikia atlikti ir centrinės pakabos spyruoklės patikrinimą stovumui.



Norint užtikrinti apskritojo skerspjuvio spyruoklių, dirbančių suspaudimu, stovumą, santykis  $H_{lb}$  (laisvos būklės spyruoklės aukštis) su jos skersmeniu  $D$  turi būti mažesnis už kritinį, nustatomą formule:

$$\left(\frac{H_{lb}}{D}\right)_{kr} = \sqrt{\eta \frac{2 - \frac{1}{1+\mu}}{1 + \frac{1}{1+\mu}}}, \quad (4.20)$$

čia:  $\eta = 4\pi^2$  – koeficientas, priklausantis nuo galinių spyruoklės vijų tvirtinimo būdo (abu galai kietai įtvirtinti);  $\mu = 0,3$  – Puasono koeficientas.

$$\left(\frac{H_{lb}}{D}\right)_{kr} = \sqrt{39,48 \frac{2 - \frac{1}{1+0,3}}{1 + \frac{1}{1+0,3}}} = 5,24. \quad (4.21)$$

Šiuo atveju:

$$\left(\frac{H_{lb}}{D}\right) = \frac{0,812}{0,252} = 3,22 \leq \left(\frac{H_{lb}}{D}\right)_{kr} = 5,24. \quad (4.22)$$

Taigi sąlyga tenkinama.

Įvertinus technologinius gamybos netikslumus ir sudėtingą pakabos spyruoklių apkrovą, būtina numatyti pakankamą stovumo atsargą. Rekomenduojama imti:

$$\left(\frac{H_{lb}}{D}\right) \leq 3,5. \quad (4.23)$$

Skaičiuojamuoju atveju:

$$\left(\frac{H_{lb}}{D}\right) = \frac{0,812}{0,252} = 3,22 \leq 3,5. \quad (4.24)$$

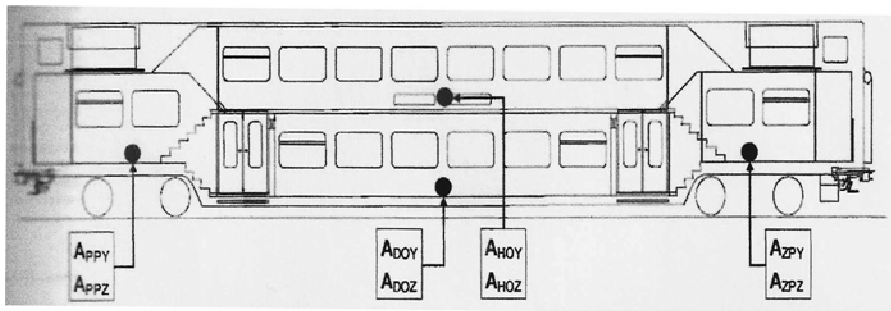
Stovumo sąlyga, įvertinus atsargą, taip pat tenkinama.

Remiantis šia metodika ir naudojantis literatūra (Нормы для расчета... 1996) ir (Манашкин, Мямлин, Приходько 2007), galima patikrinti ašidėžių pakabų spyruoklių atsparumą I ir III režimams.

Nors pagrindinė komforto gerinimo sąlyga yra virpesių mažinimas, tačiau yra ir kitų priemonių, gerinančių keleivių savijautą keleiviniuose vagonuose, ypač sėdimųjų vietų įrangą (priedas).

### 4.3. Eksperimentiniai tyrimai

Norėdama pritraukti daugiau keleivių į geležinkelių transportą, AB „Lietuvos geležinkeliai“ jau keletą metų pagal savo finansines galimybes stengiasi naujinti keleivinių riedmenų parką naujais dyzeliniais, elektriniais traukiniais bei automotrisėmis. Pastaraisiais metais modernizuota 20 keleivinių vagonų, įsigyti būtinai nauji keleiviniai šilumvežiai, du nauji elektriniai traukiniai, dvi automotrisės. Užsakant naujus keleivinius riedmenis, techninės užduotys konkursams, t. y. būsimiems tiekėjams, sudaromos remiantis 4.1 skyriuje pateikto važiuoklių dinaminio rodiklio skaičiavimo metodika bei reikalaujamomis tolygios eigos koeficiento reikšmėmis visame numatomame riedmenų eksploatavimo greičių diapazone, nes šis rodiklis yra pagrindinė gero keleivių komforto sąlyga. Gamintojui, laimėjusiam konkursą, pateikus riedmenis privaloma tvarka (nepaisant to, kad jie buvo sertifikuoti gamykloje) tikrinami pirmiausia tolygios eigos parametrai. Kartu patikrinamas ir mūsų teorinio modelio (4.9) korektiškumas. Autoriui dalyvaujant elektrinio traukinio EJ 575 bandymuose nustatyta, kad praktinių bandymų rezultatai gerai koreliuoja su apskaičiuotais ( $\pm 1,7$ ), t. y. tolygios eigos koeficientas neviršijo leistinųjų (reikalaujamųjų) ribų. 4.11 ir 4.12 lentelėse pateikiami rezultatai bandyto elektrinio dviaukščio traukinio EJ575 Kaišiadorių–Pravieniškių ruože. Rezultatai gauti matuojant skersinius ir vertikalius pagreičius tarpiniame pakrautame vagonė pagal schemą, parodytą 4.26 pav.



**4.26 pav.** Pagrindinių jutiklių išdėstymo ant tarpinio vagono grindų schema  
**Fig. 4.26.** Scheme of main sensors layout on the intermediate carriage floor

Čia  $A_{PPY}$ ,  $A_{PPZ}$ ,  $A_{DOY}$ ,  $A_{DOZ}$ ,  $A_{HOY}$ ,  $A_{HOZ}$ ,  $A_{ZPY}$ ,  $A_{ZPZ}$  – atitinkamai priekinio vežimėlio, I aukšto, II aukšto ir galinio vežimėlio zonose sumontuoti horizontaliųjų ir vertikalųjų pagreičių jutikliai.

**4.11 lentelė.** Tarpinio vagono, turinčio pakabą su oro pagalve, tolygios eigos koeficientų  $W$  reikšmės

**Table 4.11.** Smooth motion weights  $W$  of the interjacent carriage with air suspension

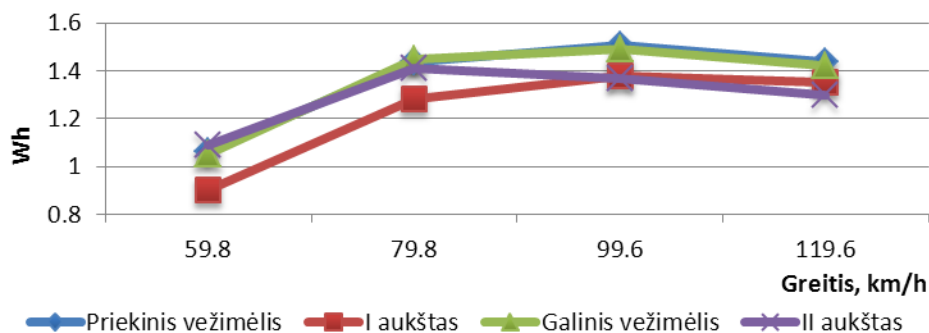
Judėjimo kryptis		Kaišiadorys–Pravieniškės			
Greitis	km/val.	59,8	79,8	99,6	119,6
Kelias	m	2028,2	1939,4	2083,6	1893,0
<b>Matavimo vieta</b>					
Priekinis vežimėlis	$W_h$	1,06	1,44	1,51	1,44
	$W_v$	1,35	1,83	2,06	1,91
I aukštas	$W_h$	0,90	1,28	1,38	1,35
	$W_v$	1,45	2,23	2,12	2,17
Galinis vežimėlis	$W_h$	1,05	1,45	1,49	1,42
	$W_v$	1,32	1,86	2,06	1,78
II aukštas	$W_h$	1,09	1,41	1,37	1,30
	$W_v$	1,29	1,91	2,05	2,00

**4.12 lentelė.** Tarpinio vagono su avarine (spyruokline) pakaba tolygios eigos koeficientų  $W$  reikšmės

**Table 4.12.** Smooth motion weights  $W$  of the interjacent carriage with emergency (spring) suspension

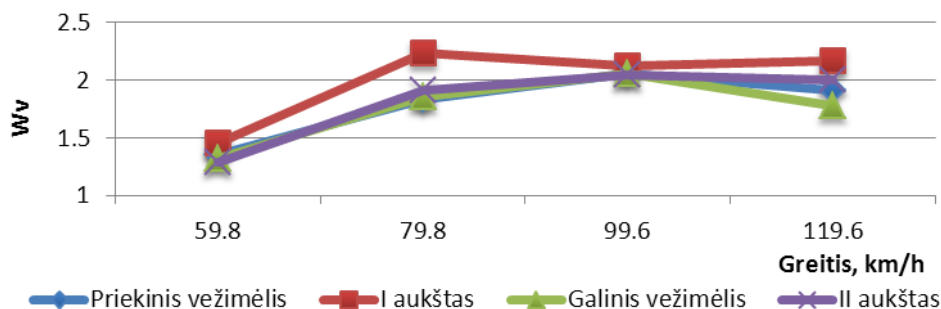
Judėjimo kryptis		Kaišiadorys–Pravieniškės			
greitis	km/val.	59,6	79,7	99,6	119,6
kelias	m	2077,0	1934,3	1963,0	1917,3
<b>Matavimo vietai</b>					
Priekinis vežimėlis	$W_h$	1,20	1,60	1,69	1,56
	$W_v$	1,69	2,18	2,54	2,17
I aukštas	$W_h$	1,05	1,39	1,48	1,43
	$W_v$	1,80	2,42	2,29	2,18
Galinis vežimėlis	$W_h$	1,24	1,64	1,78	1,58
	$W_v$	1,80	2,12	2,40	2,15
II aukštas	$W_h$	1,28	1,60	1,57	1,39
	$W_v$	1,75	2,18	2,17	2,05

4.11–4.12 lentelių duomenys pateikti 4.27–4.30 pav



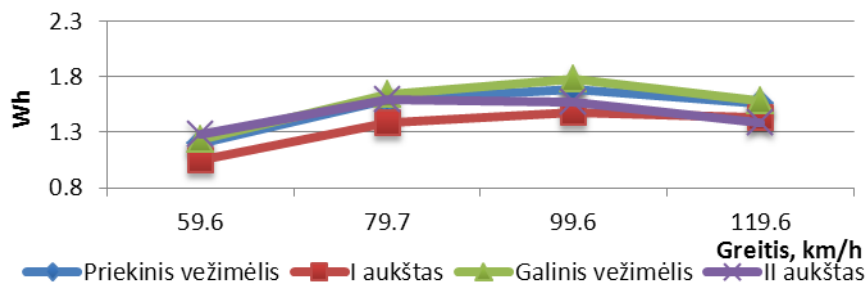
4.27 pav. Tarpinio vagono, turinčio pakabą su oro pagalve,  $W_h$  priklausymas nuo greičio

Fig. 4.27. Dependence of the interjacent carriage with spring suspension  $W_h$  from travel speed



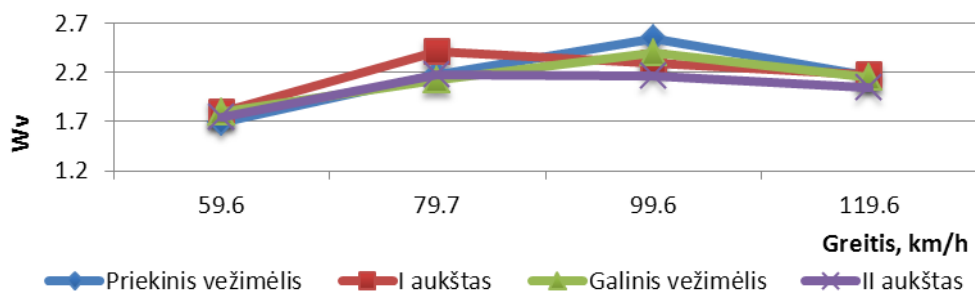
4.28 pav. Tarpinio vagono, turinčio pakabą su oro pagalve,  $W_v$  priklausymas nuo greičio

Fig. 4.28. Dependence of the interjacent carriage with air suspension  $W_v$  from travel speed



4.29 pav. Tarpinio vagono su spyruokline pakaba  $W_h$  priklausymas nuo greičio

Fig. 4.29. Dependence of the interjacent carriage with spring suspension  $W_h$  from travel speed



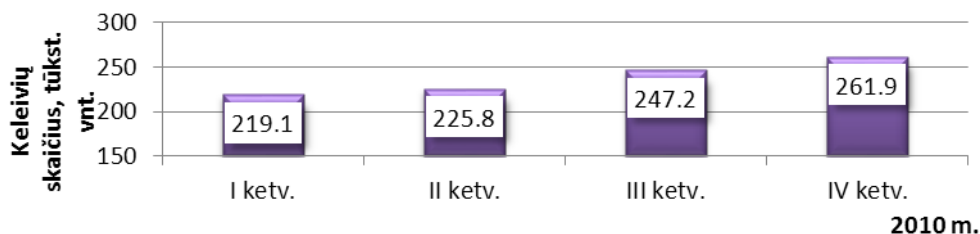
4.30. pav. Tarpinio vagono su spyruokline pakaba  $W_v$  priklausymas nuo greičio

Fig. 4.30. Dependence of the interjacent carriage with spring suspension  $W_v$  from travel speed

Kaip matyti iš 4.27 ir 4.28 pav., esant oro pagalvei greičių diapazone nuo 60 iki 120 km/h  $W_h$  tesiekia vos 1,5, o  $W_v$  esant greičiui 80 km/h šiek tiek viršija reikšmę 2,0. Tai irgi labai geras rodiklis.

Bandant vadinamąją avarinę (spyruoklinę) pakabą, iš 4.29 ir 4.30 pav. matyti, kad horizontalus  $W_h$  galinio vežimėlio zonoje didžiausias, bet neviršija 1,75 reikšmės, o  $W_v$  reikšmė (4.30 pav.) galinio vežimėlio zonoje, esant 100 km/h greičiui, įgauna maksimalią reikšmę ir siekia apie 2,5, tai irgi vertinama kaip labai gera reikšmė. Ribinė keleivinių vagonų  $W_v$  reikšmė yra 3,0–3,25. Taigi gamintojas neperžengė techninėse sąlygose nurodytų tolygios eigos koeficiento reikšmių.

Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad visos reikšmės  $W$  užfiksuotos grindų lygyje. Toliau šis koeficientas mažinamas, t. y. komfortas gerinamas kokybiškai įrengtomis sėdynėmis vagonuose (priedas). Tokiu būdu pagerinus vagonų komforto sąlygas galima tikėtis pritraukti į geležinkelį daugiau keleivių. Tai puikiai iliustruoja to paties EJ 575 traukinio eksploatacija Vilnius–Kaunas ruože. 4.31 pav. parodytas keleivių skaičius minėtame ruože.



4.31 pav. Keleivių skaičiaus prieaugis ruože Vilnius–Kaunas per 2010 m.

Fig. 4.31. Increase of passengers number for route Vilnius–Kaunas during 2010

Šis grafikas puikiai iliustruoja faktą, kaip keleiviai „atradinėjo“ komfortišką traukinį. Visus metus keleivių nuolat daugėjo. Lyginant su metų pradžia, jų padaugėjo 19,5 proc. O tai rodo, kad, palyginti su praėjusiais metais, bendras 15 proc. padidėjimas turi tendenciją kilti.

#### 4.4. Darbe taikomų priemonių vežimo nuostolių mažinimo galimybės

Šis tiriamasis darbas yra kompleksinis, jame siekiama parinkti tokias keleivių vežimo priemones, kad būtų galima pasiekti užsibrėžtą tikslą – parengti teorinius ir praktinius sprendinius, skirtus didinti pajamas bei mažinti keleivių vežimo geležinkeliais išlaidas, įvertinus technologinius poreikius konkretiems reisams bei dinamiškai kintančius keleivių srautus, bei gerinti keleivių komfortą. Trečiajame šio darbo skyriuje trimis pasirinktais maršrutais (Klaipėda–Vilnius, Vilnius–Šeštokai ir Vilnius–Turmantas), kuriais per metus nuvažiuojama daugiau kaip 40 proc. visų vagonų kilometrų (3.9, 3.10, 3.12, 3.13, 3.15 ir 3.16 pav.), parodyta, kad pritaikius traukinių parinkimo modelį (3.4), kai varijuojama ne tik sąstatų sudėtimi (kai tai leidžia daryti keleivių skaičius), bet ir traukos rūšimis, galima pasiekti gerų ekonominių rezultatų. Pvz., reise Klaipėda–Vilnius, kai keleivių skaičius neviršija 100, galima sumažinti nuostolius apie 4 kartus, o reisui Vilnius–Turmantas panaudojus automotrisių derinius (nuo Pabradės viena atkabinus), pajamos viršytų išlaidas apie 371 Lt esant dabartiniam keleivių skaičiui.

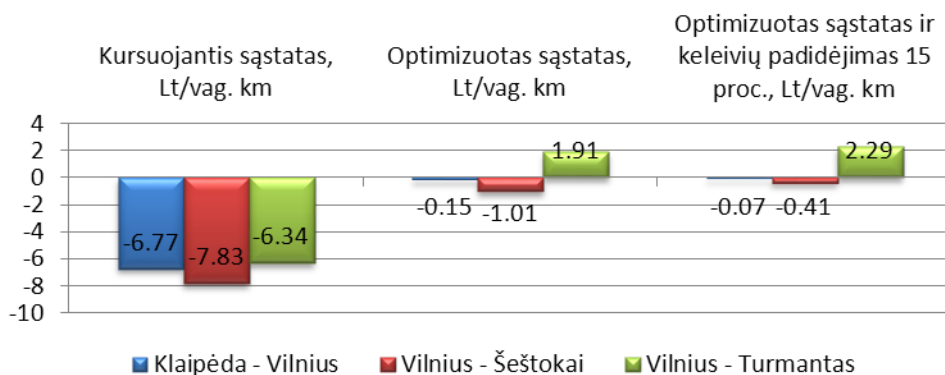
Kaip rodo pastarųjų dvejų metų stebėjimas, įsigijus naują šiuolaikinį traukinį, kuriame keleivių važiavimo sąlygos labai pagerėjo dėl jame įdiegtų pažangių technologijų (tolygi eiga, nėra triukšmo, puiki ergonomika, gera informacija, aptarnavimas ir pan.), keleivių skaičius padidėjo 15 proc. 4.13 lentelėje pateikti anksčiau minėtų ruožų vieno vagono kilometro ekonominiai rodikliai.

4.13 lentelės grafinė interpretacija pateikta 4.34 pav.

**4.13 lentelė.** Vieno vagono kilometro nuostoliai (pelnas) iki ir po optimizavimo

**Table 4.13.** Profit (loss) per 1 carr./km before and after optimisation

Maršrutai	Kursuojantis sąstatas, Lt/vag. km	Optimizuotas sąstatas, Lt/vag. km	Optimizuotas sąstatas ir keleivių padidėjimas 15 %, Lt/vag. km
Klaipėda–Vilnius	–6,77	–0,15	–0,07
Vilnius–Šeštokai	–7,83	–1,01	–0,41
Vilnius–Turmantas	–6,34	1,91	2,29



**4.34 pav.** Vieno vagono kilometro nuostoliai (pelnas) iki ir po optimizavimo  
**Fig. 4.34.** One carriage/kilometre losses (profits) before and after the optimisation

Analizuojant 4.13 lentelės ir 4.34 pav. duomenis matyti, kad vien optimizavus reiso Klaipėda–Vilnius sąstatus ir trauką, vieno vagono km nuostoliai sumažėja iki 45 kartų, o padidėjus keleivių skaičiui 15 proc. – iki 100 kartų. Optimizavus reiso Vilnius–Turmantas sąstatus iš nuostolių 1 vag. km gaunama pelno. Jis dar padidėja, kai keleivių skaičius minėtuose reisuose padidėja 15 proc.

Iš pateiktų rezultatų galima konstatuoti, kad sąstatų optimizavimas pagal keleivių skaičių ir trauką bei komforto gerinimas keleiviniuose vagonuose yra efektyvios priemonės parenkant racionalias keleivių vežimo priemones ir mažinant nuostolius maršrutuose, o kai kuriuose – ir gaunant pelno.

## 4.5. Ketvirtojo skyriaus išvados

1. Pagrindinis veiksnys, mažinantis keleivių komfortą, yra vagonų vibracijos. Mechaniniai virpesiai slopinami įvairiausiomis techninėmis-ergonominėmis priemonėmis, tačiau svarbiausias elementas šioje sistemoje yra važiuoklių pakabos. Čia lemiamas veiksnys yra tolygios eigos koeficientas, kuris glaudžiai siejasi su vibracijos dažniais, pagreiviais ir amplitudėmis.
2. Sudaryta tikslo funkcija leidžia apskaičiuoti dinامينius vagono rodiklius (vertikalius  $K_{dva}$  ir horizontalius  $K_{dha}$  ašidėžių rodiklius, minimalų stovumo  $K_s^{\min}$  koeficientą, centrinės pakabos vertikalų dinaminį koeficientą  $K_{dva}^{\max}$  bei vertikalųjį  $A_{kv}^{\max}$  ir horizontalųjį  $A_{kh}^{\max}$  kėbulo pagreivius) esant bet kokiems leistiniams važiavimo greičiams.

3. Nustatyta, kad skaičiuojant dinامينius procesus, būtina vertinti kontaktą tarp rato ir bėgio kaip nestabilų, t. y. rato atitrūkimą nuo bėgio.
4. Tyrimai parodė, kad nustatant optimalius važiuoklių pakabų parametrus, pagrindiniu rodikliu tikslo funkcijoje reikia laikyti stovumo koeficientą, nes šis parametras pirmasis riboja važiavimo greitį.
5. Optimizavus dinامينius parametrus, sudarytas pakabos atsparumo elementų skaičiavimo algoritmas.
6. Nurodytos pažangios ergonomikos priemonės, kurios turėtų būti diegiamos naujuose keleiviniuose vagonuose (sėdynės, šildymas, paslaugų kompleksas) gerinant keleivių vežimo komfortą.



---

## Bendrosios išvados

Keleivių vežimo priemonių geležinkeliais kompleksinis tyrimas parodė, kad yra daugybė veiksnių, kurie vienaip ar kitaip veikia sėkmingą ir efektyvų keleivių sektoriaus darbą geležinkelyje. Tačiau veiksniai, nagrinėjami šiame darbe, daro didžiausią įtaką racionaliam keleivių vežimo priemonių parinkimui, kad galima būtų maksimaliai sumažinti iš šios veiklos patiriamus nuostolius, o kai kuriuose maršrutuose gauti ir pelno. Taigi apibendrinus gautus rezultatus galima padaryti tokias išvadas:

1. Pagrindinės priežastys, lemiančios nuostolius, atsirandančius vežant keleivius geležinkeliais, yra mažas keleivių skaičius, šiuolaikinių riedmenų trūkumas, prasta geležinkelių infrastruktūra, neracionalus riedmenų naudojimas atskiruose vietinio susisiekimo maršrutuose.
2. Pastaruoju metu keleivinių riedmenų parkas nėra optimaliai pritaikytas keleivių vežimui vietiniais maršrutais, naudojant lanksčią keleivių vežimo priemonių transformaciją pagal traukos rūšį ir kintamą keleivių skaičių.
3. Sudarytos regresijos lygtys pagal atskirus maršrutus, parodančios keleivių kaitos dinamiką.
4. Sudarytas pajamų ir išlaidų matematinis modelis, įvertinantis visus galimus pajamų ir išlaidų veiksnius.

5. Suformavus sąstatus pagal optimizuotą variantą reise Klaipėda–Vilnius, galima sumažinti nuostolius apie 4 kartus, o reise Vilnius–Turmantas gauti teigiamą rezultatą, t. y. pasiekti, kad pajamos viršytų išlaidas.
6. Pagrindinis veiksnys, mažinantis keleivių komfortą, yra vagonų vibracijos. Pagrindinis jų mažinimo veiksnys yra tolygios eigos koeficientas, kuris glaudžiai siejasi su vibracijos dažniais, pagreičiais ir amplitudėmis.
7. Sudaryta tikslo funkcija leidžia paskaičiuoti dinامينius vagono rodiklius (vertikalius ir horizontalius ašidėžių rodiklius, minimalų stovumo koeficientą, centrinės pakabos vertikalų dinaminį koeficientą bei vertikalų ir horizontalų kėbulo pagreičius) esant bet kokiems leistiniams važiavimo greičiams.
8. Tyrimai parodė, kad nustatant optimalius važiuoklių pakabų parametrus, pagrindiniu rodikliu tikslo funkcijoje reikia laikyti stovumo koeficientą, nes šis parametras pirmasis riboja važiavimo greitį.
9. Nurodytos pažangios ergonomikos priemonės, kurios turėtų būti diegiamos naujuose keleiviniuose vagonuose (sėdynės, šildymas, paslaugų kompleksas) gerinant keleivių vežimo komfortą.
10. Naujinant keleivinį geležinkelių parką tikslinga įsigyti greitai transformuojamas keleivių vežimo priemones (pvz., modulinius traukinius), kurios atitiktų keleivių vežimo koncepciją Lietuvos sąlygomis.

---

## Literatūra ir šaltiniai

Bao, J.; Xin, L.; Tang, Z.; Zang, X. 2009. Solving the train delay problem with the periodic train diagram, in *Proceedings of the International Conference on Transportation Engineering 2009*, 368–373.

Bažant, M.; Kavička, A. 2009. Artificial neural network as a support of platform track assignment within simulation models reflecting passenger railway station, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit* 223(5): 505–515.

Bestle, D.; Eberhard, P. 1996. Multi-criteria Multi-model Design Optimization, in D. Bestle, W. Schiehlen (Eds.). *Optimization of Mechanical Systems*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 863–876.

Bestle, D.; Eberhard, P. 1994. Automated approach for optimizing dynamic systems, *International Series of Numerical Mathematics* 115: 225–233.

Bestle, D.; Eberhard, P. 1992. Analyzing and optimizing multibody systems, *Mechanics Based Design of Structures and Machines* 20(1): 67–92.

Budai, G.; Maróti, G.; Dekker, R.; Huisman, D.; Kroon, L. 2010. Rescheduling in passenger railways: rolling stock rebalancing problem, *Journal of Scheduling* 13(3): 281–297.

Butkevičius, J. 2009. The strategy of passenger transportation by national railway transport the implementation of public service obligations, *Transport* 24(2): 180–186.

Butkevičius, J. 2007. Development of passenger transportation by railroad from Lithuania to European states, *Transport* 22(2): 73–79.

Butkevičius, J.; Jarašūnienė, A.; Jackiv, I. 2008. Comparison of passenger transportation by Lithuanian road and railway transport in regard to traffic safety, in *Proceedings of the 12th International Conference „Transport Means – 2008“*, 147–150.

Butkevicius, J. 2008. SWOT analysis of passenger and freight transportation by Lithuanian railway transport, in *Proceedings of the 12th International Conference „Transport Means – 2008“*, 96–98.

Celebi, D.; Bolat, B.; Bayraktar, D. 2009. Light rail passenger demand forecasting by artificial neural networks, in *International Conference on Computers and Industrial Engineering (CIE)*, 239–243.

Čiočys, V.; Jasilionis, R. 1990. *Matematinis programavimas*. Vilnius: Mokslas. 302 p.

Dailydka, S.; Lingaitis, L. P.; Myamlin, D.; Prichodko, V. 2008a. Modelling the interaction between railway wheel and rail, *Transport* 23(3): 236–239.

Dailydka, S.; Lingaitis, L. P.; Myamlin, D.; Prichodko, V. 2008b. Mathematical model of spatial fluctuations of passenger wagon, *Maintenance and Reliability* 4(40): 4–8.

De Pater, A. D. 1961. The approximate determination of the outing movement of a railway vehicle by aid of the method of Krylov and Bogoliubov, *Applied Scientific Research, Section A* 10: 203–228.

Durdev, D. 2009. Legal regulation of the railway transport of passengers in EU, in *Proceedings University of Novi Sad, Faculty of Law* 43(1): 67–84.

Erikson, P.; Arora, J. S. 2002. A comparison of global optimization algorithms applied to a ride comfort optimization problem, *Journal Structural and Multidisciplinary Optimization* 24(2): 157–167.

Filina, V. N. 2008. Competitiveness problems of the national transportation system, *Journal of Studies on Russian Economic Development* 19(3): 248–261.

Hilmola, O. P. 2009. Global railway passenger transports – efficiency analysis from period of 1980–2004, *International Journal of Logistics Economics and Globalisation* 2(1): 23–39.

Hu, Z.; Yan, Y.; Qiu, Z. 2008. Research on optimization model of making inter-city passenger train operation plan and ticket price, in *Proceedings of the International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* 45–48.

Jones, D. R.; Perttunen, C. D.; Stuckman, B. E. 1993. Lipschitzian optimization without the Lipschitz constant, *Journal of Optimization Theory and Applications* 79(1): 157–181.

Kalker, J. 1967. *On the Rolling of Two Elastic Bodies in the Presence of Dry Friction*: Doctoral Thesis Delft Technological University.

Kasturia, S.; Verma, A. 2010. Multiobjective transit passenger information system design using GIS, *Journal of Urban Planning and Development* 136(34): 34–41.

Keršys, R.; Bazaras, Ž. 2001. Keleivinio vagono dinamika važiuojant izoliuotomis įdubomis, *Transportas* 16(3): 93–99.

Li, K. P.; Gao, Z. Y.; Mao, B. H.; Cao, C. X. 2009. Optimizing Train Network Routing Using Deterministic Search, *Journal of Networks and Spatial Economics (Infrastructure Modeling and Computation)* 9: 1–13.

Lietuvos Respublikos geležinkelių transporto kodeksas. 2004. Patvirtinta 2004 m. balandžio 22 d. įstatymu Nr. IX-2152.

Manoj, K. Jha; Schonfeld, P.; Sutapa, S. 2007. Optimizing Rail Transit Routes with Genetic Algorithms and Geographic Information System, *Journal of Urban Planning and Development* 133(3): 161–171.

Maskeliūnaitė, L.; Sivilevičius, H.; Podvezko, V. 2009. Research on the quality of passenger transportation by railway, *Transport* 24(2): 100–112.

*Mechaniniai virpesiai ir smūgiai. Vibracijos, veikiančios visą žmogaus kūną, poveikio įvertinimas. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai. LST ISO 2631-1.* 2004. Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas.

Pekarskas, V. 1996. *Diferencialinis ir integralinis skaičiavimas*. 1 dalis. Kaunas: Technologija. 388 p.

Sahin, B.; Yilmaz, H.; Ust, Y.; Guneri, A. F.; Gulsun, B. 2009. An approach for analysing transportation costs and a case study, *European Journal of Operational Research* 193(1): 1–11.

Savolainen, V. V.; Hilmola, O. P. 2009. The relative technical efficiency of European transportation systems concerning air transport and railways, *International Journal of Business Performance Management* 11(1/2): 19–42.

Schraven, S. 2008. Passenger information systems for railway vehicles, *International Trade Journal for rail Transport and Technology „Der Eisenbahningenieur“* 59(2): 22–24.

Shrivastava, P.; O'Mahony, M. 2009. Use of a hybrid algorithm for modeling coordinated feeder bus route network at suburban railway station, *Journal of Transportation Engineering* 135(1): 1–8.

Schiehlen, W. 1997. Multibody system dynamics, roots and perspectives, *Journal Multibody System Dynamics* 1(2): 149–188.

Snyman, J. A. 1983. An improved version of the original leap-frog dynamic method for unconstrained minimization: LFOP1(b), *Journal Applied Mathematical Modelling* 7(3): 216–218.

Tao, S.; Peng, Q.; Zha, W.; Jiang, C. 2007. Economic Evaluation Method of Passenger Train Plan, in *Proceedings of the International Conference on Transportation Engineering 2007*, 412–417.

Ustinovičius, L.; Zavadskas, E. K. 2004. *Statybos investicijų efektyvumo sistemos techninis įvertinimas*. Vilnius: Technika. 220 p.

Wang, H.; Cui Y.; Li, B. 2009. Related issues on train program of passenger special line, in *Proceedings of the Second International Conference on Transportation Engineering 2007*, 410–420.

*Viešojo transporto efektyvaus panaudojimo vežant keleivius koncepcija*. 2010. Vilnius: VĮ Socialinės ir ekonominės plėtros centras. 62 p.

Zavadskas, E. K.; Kaklauskas, A. 1996. *Pastatų sistemotechninis įvertinimas*. Vilnius: Technika. 280 p.

Podvezko, V. 2005. Ekspertų įverčių suderinamumas, *Technological and Economic Development of Economy* 11(2): 101–107.

Zhang, Y.; Peng, Q. 2008. Study on passenger transfer network for integrated transportation, in *Proceedings of the Eighth International Conference of Chinese Logistics and Transportation Professionals* 5: 642–643.

Žilinskas, A. 2000. *Matematinis programavimas*. Kaunas: VDU leidykla. 227 p.

Блохин, Е. П.; Данович, В. Д.; Морозов, Н. И. 1986. *Математическая модель пространственных колебаний четырехосного рельсового экипажа*. Днепропетровск: Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. 39 с.

Вериго, М. Ф.; Коган, А. Я. 1986. *Взаимодействие пути и подвижного состава*. Москва: Транспорт. 560 с.

Вершинский, С. В.; Данилов, В. Н.; Хусидов, В. Д. 1991. *Динамика вагона*. Москва: Транспорт. 359 с.

Данович, В. Д. 1981. *Пространственные колебания вагонов на инерционном пути*: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск. 465 с.

Ефимова, Г. Н. 2009. *История создания и перспективы модернизации пассажирского вагона в России*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 24 с.

Камаев, В. А. 1980. *Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава*. Москва: Машиностроение. 215 с.

Ковалев, Р. В. 2004. *Разработка и реализация эффективных методик компьютерного исследования динамики и оптимизации параметров ходовых частей железнодорожных экипажей*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Брянск. 27 с.

Козлов, М. П. 2010. Уточнения к расчету коэффициентов вертикальной динамики, *Мир транспорта* 1(29): 26–30. ISSN 1992-3252.

Коротенко, М. Л.; Данович, В. Д. 1973. Дифференциальные уравнения пространственных колебаний четырехосного вагона с учетом конечной жесткости кузова и инерционных свойств основания, *Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы механики наземного транспорта»*. Днепропетровск: ДИИТ, 199(25): 3–13.

Кузнецова, Н. В. 2007. *Система маркетингового планирования объема пассажирских перевозок на примере природного железнодорожного транспорта*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Волгоград. 24 с.

Лазарян, В. А.; Длугач, Л. А.; Коротенко, М. Л. 1972. *Устойчивость движения рельсовых экипажей*. Киев: Наукова думка. 193 с.

Лазарян, В. А.; Коротенко, М. Л.; Данович, В. Д. 1966. *Устойчивость движения железнодорожных экипажей с двойным рессорным подвешиванием: научные труды ДИИТ*. Днепропетровск: ДИИТ, 45–51.

Лазарян, В. А. 1964. *Динамика вагонов*. Москва: Транспорт. 256 с.

Лисенко, О. А. 2006. *Функциональные аспекты управления текущими затратами пассажирских пригородных железнодорожных компаний*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Екатеринбург. 22 с.

Манашкин, Л. А.; Мямлин, С. В.; Приходько, В. И. 2007. *Гасители колебаний и амортизаторы ударов рельсовых экипажей (математические модели)*: монография. Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС. 196 с.

Михайличенко, Г. С. 1986. *Разработка методологии выбора структуры и параметров ходовой части мощных магистральных локомотивов и ее реализация на примере проектирования восьмиосных тепловозов*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Брянск. 25 с.

Морозова, М. В. 2009. *Обоснование системы управления затратами по пассажирским перевозкам на железнодорожном транспорте*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Москва. 23 с.

Мямлин, С. В.; Приходько, В. И.; Жижко, В. В. 2007. Совершенствование математической модели пространственных колебаний пассажирского вагона, *Тезисы докладов 67 Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта»*, 40–41.

Мямлин, С. В. 2003а. Математическая модель движения колеса по рельсовой нити, *Сборник научных трудов Киевского университета экономики и технологии транспорта «Системы и технологии транспорта»*. Киев: Киевский университет экономики и технологии транспорта, выпуск 1–2: 154–156.

Мямлин, С. В. 2003б. *Улучшение динамических качеств рельсовых экипажей путем усовершенствования характеристик рессорного подвешивания*: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Днепропетровск. 455 с.

Мямлин, С. В. 2002а. *Моделирование динамики рельсовых экипажей*: монография. Днепропетровск: Новая идеология. 240 с.

Мямлин, С. В. 2002б. Влияние жесткости рессорного подвешивания на динамические показатели качества пассажирского вагона, *Транспорт* 10: 46–50.

Николаев, В. А. 2003. *Разработка методов аналитического конструирования квазиинвариантных систем рессорного подвешивания железнодорожных экипажей*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск, 42 с.

*Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)*. 1996. Москва: ГосНИИВ–ВНИИЖТ. 320 с.



Оценка воздействия вибрации вагонов на пассажиров, *Железные дороги мира* 2000, 9: 36–38.

Полак, Б. Т. 1983. *Введение в оптимизацию*. Москва: Наука. 384 с.

Полак, Э. 1974. *Числительные методы оптимизации: единый подход*. Москва: Мир. 369 с.

Реклейтис, Г.; Рейвиндран, А.; Рэгсдел, К. 1986. *Оптимизация в технике*. Том 1. Москва: Мир. 348 с.

Соболь, И. М. 1979. *Численные методы Монте-Карло*. Москва: Наука. 312 с.

Соколов, М. М.; Варава, В. И.; Левит, Г. М. 1985. *Гасители колебаний железнодорожного подвижного состава*. Москва: Транспорт. 216 с.

Сысоева, Е. А. 2008. *Железнодорожная реформа в России и в странах запада*: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Москва. 29 с.

Ушкалов, В. Ф.; Резников, Л. М.; Редько, С. Ф. 1982. *Статистическая динамика рельсовых экипажей*. Киев: Наукова думка. 359 с.

Шеффель, Г. 1974. Устойчивость при влиянии с боковым относом и способность подвижного состава вписываться в кривые, *Железные дороги мира* 12: 32–46.



---

## Autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašas

### **Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *ISI Web of Science* sąrašą**

Dailydka, S.; Lingaitis, L. P.; Myamlin, S.; Prichodko, V. 2008a. Modelling the interaction between railway wheel and rail, *Transport* 23(3): 236–239. ISSN 1648-4142 (ISI Web of Science).

Dailydka, S.; Lingaitis, L. P.; Myamlin, S.; Prichodko, V. 2008b. Mathematical model of spatial fluctuations of passenger wagon, *Eksplotacja i niezawodność=Maintenance and Reliability* 4 (40): 4–8. ISSN 1507-2711 (ISI Web of Science).

Liudvinavičius, L.; Lingaitis, L. P.; Dailydka, S.; Jastremskas, V. 2009. The aspect of vector control using the asynchronous traction motor in locomotives, *Transport* 24(4): 318–324. ISSN 1648-4142 (ISI Web of Science).

Dailydka, S. 2010. Choosing railway vehicles for carrying for passengers, *Transport* 25(1): 11–16. ISSN 1648-4142 (ISI Web of Science).

Lingaitis, L. P.; Dailydka, S.; Myamlin, S.; Prichodko, V. 2008. Determination of conditions for search of optimal parameters of railway chassis suspensions, *Transport Problems* 3(1): 77–84. ISSN 1896-0596.

Dailydka, S.; Lingaitis, L. P. 2009. Passenger transportation problems of the public limited liability company “Lietuvos geležinkeliai”, *Transport Problems* 4(3): 45–50. ISSN 1896-0596.

### **Straipsniai kituose leidiniuose**

Dailydka, S. 2009. Passenger transportation strategy of SC “Lithuanian Railways”, in *Proceedings of the 6th International Scientific Conference „TRANSBALTICA 2009“*. Vilnius: Technika, 33–41. ISSN 2029-2376.

---

# Priedai

## P1. Naujų konstrukcijų keleivių sėdynės

Konkurencija tarp atskirų transporto rūšių vežant keleivius verčia įmonę nuolat rūpintis keleivių komfortu. Geležinkelių transporte šis veiksnys susijęs ir su riedmenų masės bei energijos mažinimu traukai.

Firmoms gamintojoms keliami didesni reikalavimai kuriant reikiamo klimato ir apšvietimo erdvius bei jaukius salonus, o interjero gamintojams – sukurti krėslus (sėdynes), kurie būtų patogūs keleiviams, mažintų nuovargį kelionės metu, mažintų vibracijas ir tolygios eigos koeficientą.

Natūralu, kad visuose traukiniuose galima įrengti keleivių poilsio zonas su minkštais baldais, atskirais stalais kaip eksperimentiniame Vokietijos geležinkelio traukinyje „Lirex“, tačiau norimą rezultatą galima pasiekti tobulinant krėslų konstrukcijas.

Viena garsesnių įmonių, gaminanti kėdėse, yra prancūzų įmonė „Antoin Loire“. Jos gamybos kėdėse sumontuoti lizdai, leidžiantys klausyti radijo laidų dešimčia kanalų, prijungti mobilųjį telefoną ir nešiojamąjį kompiuterį.

Vokiečių įmonė „Grammer“ sukūrė visą gamą patobulintų kėdėse greitai-  
gams elektriniams traukiniams ICE3 (P1 pav.).

Juose sumontuotos atlenkiamosios sėdynės mažiems vaikams.



**P1 pav.** Įmonės „Grammer“ kėdė (sėdynė) elektriniame traukinyje ICE3

**Fig. P1.** “Grammer” seat in the electric train ICE3



**P2 pav.** Įmonės „Grammer“ 2000 tipo kėdėse

**Fig. P2.** “Grammer” seat 2000

Italų įmonė „Clerprem“ gamina krėslus dviaukščiams TAF tipo elektriniams traukiniams. Šių krėslų dėl palengvinto rėmo iš aliuminio konstrukcijų (masė 6 kg) masė tesiekia 15 kg, o tai labai aktualu riedmenims, turintiems didelį skaičių sėdimųjų vietų.

Vokiečių įmonė „Vogel“ pateikė naują seriją „Pino“ tipo krėslų. Ji siūlo vartotojams visą savo produkcijos duomenų bazę, įrašytą CD-ROM, kurioje vartotojas gali išsirinkti tinkamiausią konstrukciją bet kurios klasės vagonams.



**P3 pav.** Įmonės „Vogel“ krėslas priemiestiniams ir miesto traukiniams

**Fig. P3.** „Vogel” seat for commuter and city trains

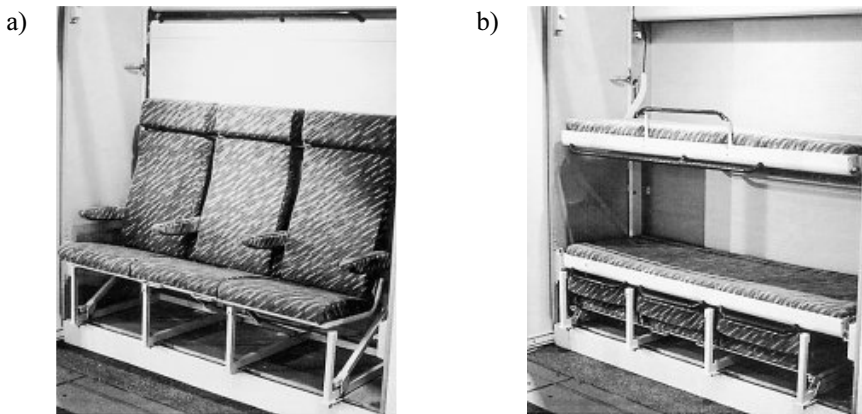
Ispanų įmonė „Fainsa“ siūlo krėslus dyzelinių traukinių pirmos klasės vagonams.

Čekų įmonė „Borcad“ gamina trijų vietų transformuojamuosius krėslus (P4 pav.) miegamiesiems vagonams.

patogius Naujų konstrukcijų krėslus geležinkeliams taip pat gamina prancūzų įmonė „Compin“, vokiečių įmonė „Franz Kiel“, suomių – „Raccoon“.

Kitų šalių patirtis rodo, kad mažinti eksploatacines išlaidas galima mažinant vagonų skaičių traukinyje vietų skaičiaus didinimo vagonėse sąskaita. Tam tikslui paprastai didinamas sėdimųjų vietų skaičius kiekvienoje eilėje ir mažinamas krėslų išdėstymo žingsnis. Tačiau tokios priemonės mažina tiek keleivių komfortą, tiek jų saugumą. Lėktuvuose elgiamasi kaip tik atvirkščiai – sėdynės platinamos, žingsnis didinamas.

Taigi minėti veiksniai rodo, kad keleivių salonų užimtumo optimizavimas yra gana sudėtinga problema. Išsiaiškinta, kad keleivio laisvės pajauta salone daugiausia lemia kelionės komfortą. Komfortui gerinti būtina atsižvelgti ir į ergonomines priemones, tokias kaip sėdynių matmenys, atstumai tarp jų ir pan.



**P4 pav.** Įmonės „Borcad“ transformuojamas krėslas:

a – nuleistoje padėtyje; b – pakeltoje padėtyje

**Fig. P4.** Company “Borcad” transformed chair:

a – the lowered position; b – the upright position

Remiantis eksperimentinių tyrimų, atliktų „Shinkansen“ tinkle, rezultatais galima konstatuoti, kad trijų vietų krėslų „Shinkansen“ tipo traukinio vagonė vidurinė sėdynė, kurios paprastai keleiviai vengia, buvo palikta šiek tiek platesnė. Nors vidurinės alkūnių atramos pakeliamos, bet keleiviai jas palieka nuleistas, taip atsiribodami nuo greta sėdinčio keleivio.

Nustatant atstumus tarp krėslų eilių konstatuota, kad žingsnis tarp krėslų turi tam tikros įtakos, tačiau nėra vienintelis komforto veiksnys.

## P2. Vagonų šildymas

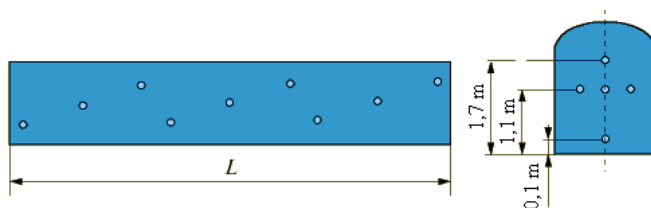
Pastaruoju metu vagonų salonams šildyti dažniausiai naudojamos orinės ir konvekcinės sistemos. Kai oro kondicionavimo sistema šildoma įmontuotu kondicionieriuje kaitintuvu, šiluma kanalais tiekama į vagonų patalpas. Tekant šilto oro srautui kanalais, kurių išoriniai paviršiai liečiasi su šaltu oru, prarandami dideli šilumos kiekiai. Jie tuo didesni, kuo toliau nuo šildomų patalpų yra centrinis šildymo įtaisas.

Antrasis pastaruoju metu paplitęs šildymo metodas grindžiamas šildymo prietaisų decentralizavimu, pvz., po keleivių krėslais. Tačiau decentralizuota šildymo prietaisų sistema (išdėstymas) reikalauja daug vietos ir nemažų išlaidų kabeliams išvedžioti.

Kaip konvekcinių šildymo sistemą galima pateikti elektrinius radiatorius arba šildymo plokštes. Tokius prietaisus galima kabinti ant šoninių vagonų sienų, po sėdynėmis arba specialiose nišose.



Standarto prEN 13129-3 9.1 ir 9.2 punktai reikalauja, kad temperatūrų skirtumas įvairiame vagonų aukštyje nuo grindų nevirsytų nustatyto skirtumo. P5 pav. parodyta, kaip tokie taškai išdėstyti  $L$  ilgio vagonė. Šis reikalavimas turi užtikrinti tolygų šilumos pasiskirstymą vagono salone. Naudojant tradicines šildymo priemones, šį reikalavimą užtikrinti sunku.



**P5 pav.** Temperatūros matavimo taškai vagonė pagal standartą

**Fig. P5** Temperature measurement points of the carriage according to standard

**Plokštieji šildymo elementai.** Šie šildymo elementai pastaruoju metu geriausiai tinka vienodai paskirstyti šilumą vagonė ir padidinti keleivių komfortą. Be to, jie palyginti geriau apsaugoti nuo vandalizmo ir dirbant nekelia triukšmo.

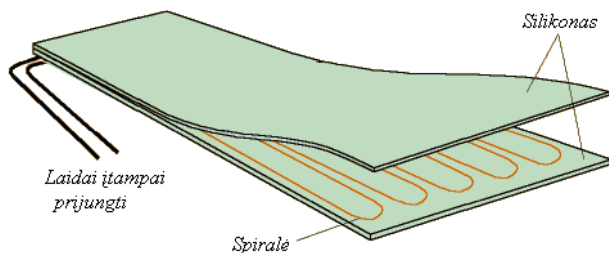
Pagrindinis jų pranašumas – efektyvus šilumos spinduliavimas visu paviršiumi. Tolygiai šildant supančią keleivių erdvę, nesukuriami keleiviui nepatogūs oro srautai, kurie gali sukelti ir dulkių. Galimybė tolygiai šildyti grindis, lubas ir sienas leidžia vagonė palaikyti 2–3 laipsniais žemesnę temperatūrą negu kitu būdu šildomuose vagonuose, keleiviui to neįjuntant. Vokietijos standartai numato tokias temperatūras: grindų paviršiaus – 30 °C, sienų, lubų ir pertvarų – 35 °C. Šildymo prietaisų parametrai turi būti skaičiuojami šioms temperatūroms.

**Plokščiųjų šildytuvų konstrukcijos.** Geležinkelio riedmenims geriausiai tinka silikoniniai ir plėveliniai kaitinimo elementai.

Silikoniniai elementai iš visų plokščiųjų elementų šiuo metu taikomi plačiausiai (pvz., mašinisto kabinos nišoje kojoms šildyti). Juose naudojami NiCr arba CuNi lydinio spiralė, apvyniota ant plonos stiklo pluošto plokštelės. Ji įrengiama tarp dviejų silikono sluoksnių, armuotų stiklo pluoštu kartu su šilumai laidžiu užpildu (P6 pav.).

Veikiant aukštai temperatūrai ir slėgiui, vyksta vulkanizavimo procesas ir spiralė hermetiškai uždaro tarp apsauginių sluoksnių. Gautas kaitinimo elementas pasižymi geru mechaniniu, elektriniu ir terminiu atsparumu, todėl jį galima naudoti sunkiomis geležinkelių riedmenų eksploataavimo sąlygomis.

Kadangi konstrukcijos elementai elastingi, kaitintuvams galima suteikti bet kokią formą pagal užsakovo pageidavimus. Tinkamai parinkta forma dar labiau padidina šildytuvų efektyvumą, tolygiai ir kryptingai spinduliuojant šilumą konkrečioje sumontuoto šildytuvo vietoje.



**P6 pav.** Silikoninio kaitintuvo elemento konstrukcija

**Fig. P6.** Silicone heater element design

Praktiškai tai reiškia, kad tokie šildymo elementai vulkanizavimo būdu gali būti sėkmingai sujungti su konstrukcijomis, kurias reikia apšildyti, pvz., tambūrų laiptelių paviršiais. Vulkanizavimo metu elastinga gumos pavidalo polimerinės danga stipriai jungiasi su nerūdijančiuoju plienu, aliuminio lydiniais, spalvotaisiais metalais ir kt.

Silikoniniai elementai naudojami ilgai, tačiau juos pakeisti gana sudėtinga, tam reikia skirti daug laiko ir lėšų.

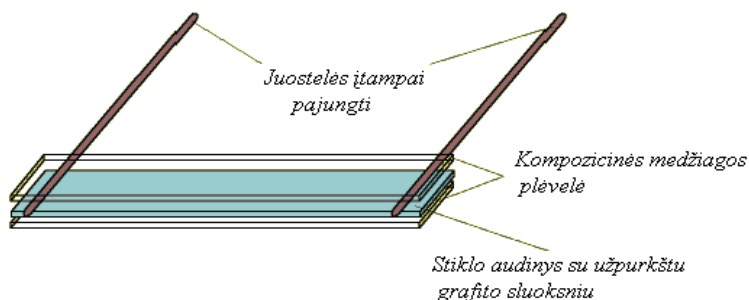
Aukštos mechaninės silikoninių elementų charakteristikos (atsparumas gniuždymui ir tempimui) leidžia taikyti įvairiausių jų tvirtinimo būdus: kabinti ant įtemptų spyruoklių, kilpų kablių, prispausti plokšte su varžtais. Kadangi srovės nedidelės, juos taip pat galima klijuoti prie metalo, stiklo, keramikos ir plastmasės. Priklausomai nuo poreikio, gali būti naudojamos įvairaus galingumo spiralės.

Kaitintuvams reguliuoti reikalingi jutikliai ir reguliavimo elementai. Jais gali būti, pavyzdžiui, strypinis jutiklis, įdėtas į specialų lizdą ir sumontuotas termostate. Atsižvelgiant į taikymo sritį, silikoninės masės kaitintuvai gali atitikti griežtus priešgaisrinės saugos reikalavimus.

**Plėveliniai kaitintuvai.** Plėveliniai kaitintuvai 0,6–0,8 mm storio, kurių lyginamoji masė 240–360 g/m esant 400 arba 600 mm pločiui yra gera alternatyva silikoniniams kaitintuvams. Plėvelė apskaičiuota pakankamoms, nors ir nelabai aukštomis temperatūroms, todėl maksimali paviršiaus šiluminė apkrova apribota 0,17 W/m<sup>2</sup> dydžiu.

Plėvelinį kaitintuvą sudaro stiklo audinys, kurio paviršius padengtas anglies ir grafito miltelių sluoksniu (P7 pav.). Maitinimo įtampai įjungti naudojamos varinės alavuotos juostelės. Izoliacija gaminama iš laminato – aukštos kokybės kompozicinės poliesterinės-polietileninės plėvelės.

Pastaruoju metu šio tipo plokštieji elementai naudojami daugiausia namų grindims, luboms ir sienoms šildyti. Stacionariomis sąlygomis jų naudojimo laikas siekia iki 30 metų. Ar tinka jos geležinkelio riedmenims – dar reikalingi atitinkami tyrimai. Ypač reiktų patikrinti trijų plėvelių (kaitinimo ir dviejų izoliacinių) sujungimo į vieną vienetą stiprumą geležinkelio sąlygomis, taip pat atsparumą ugniai.



**P7 pav.** Plėvelinis kaitinimo elementas

**Fig. P7.** Filmy heater

**Perspektyva.** Plėvelinių kaitintuvų, siekiant naudoti juos geležinkelių transporte, tyrimai turi būti atlikti bandant juos priešgaisriniams reikalavimams, mechaniniam atsparumui, kartu vibracinėms ir smūginėms apkrovoms, taip pat eksploataciniam suderinamumui.

Šio tipo elementai, turintys mažą masę ir storį, didelį lankstumą bei mažai kainuojantys, atskleidžia naujų galimybių didinant komfortą keleiviniuose vagonuose, pavyzdžiui, apšildant tam tikras vietas tualetuose, įrengiant aktyvią šilto oro kanalų izoliaciją, pašildant sėdynes kai kuriose vagonų zonose. Tai labai perspektyvi medžiaga naudoti mašinisto kabinoje.

### P3. Maitinimo kultūra

Gastronominės tradicijos ir valgymo stilius apibūdina visuomenės socialinio gyvenimo normas, išreiškia kiekvienos konkrečios šalies požiūrių skirtumus ir mentalitetą. Didėjantis gyventojų mobilumas taip pat daro didžiulę įtaką valgymo papročiams.

Pirmiesiems keliautojams geležinkeliais laiko praleidimas traukiniuose dažniausiai asocijavosi su laikraščiu, knygų skaitymu, o dar dažniau – su geru vynu ir delikatesais.

Amerikos ir Europos geležinkeliuose restorano vagonai pasirodė XIX a. septintajame dešimtmetyje. Šveicarijoje tokie vagonai buvo brangių tarptautinių traukinių kategorijos „Liuks“ atributas. Taip bent buvo iki XX a. pradžios. 1903 m. įkurta šveicarų restorano vagonų įmonė SSG, kuri veikia ir dabar, nuomoja vagonus ir aptarnaujantįjį personalą.

Pirmojo pasaulinio karo metu restorano vagonų statusas smarkiai sumenko. Tai lėmė didžiulė infliacija, maisto produktų trūkumas, nutrūkė turistų srautai. Tačiau jau 1920 m., nepaisant ekonominės krizės, ši veiklos rūšis atgimė. Piką ji pasiekė Antrojo pasaulinio karo laikotarpiu (nepaisant maisto produktų limita-

vimo), nes sumažėjus automobilių transporto (ypač privataus) parkui, daugelis žmonių persėdo į geležinkelių transportą.

Tačiau didelė plačios visuomenės dalis neturėjo tiek lėšų, kad galėtų naudotis restorano vagonų paslaugomis. Keleivių aptarnavimo rūšys, atitinkančios keleivių, vykstančių su savais sumuštiniais, poreikius pasirodė tik apie 1951 m. Tuomet oro transporto pavyzdžiu vagonuose užkandžiams ir karštiesiems gėrimams pristatyti į keleivių vietas buvo pradėti naudoti išvežiojamieji vežimėliai. Ši sistema iš pat pradžių turėjo didelį pasisekimą.

Maitinimo organizavimas transporto sektoriuje yra potencialiai pelninga veiklos rūšis, tačiau kelia griežtus reikalavimus operatoriams struktūrinės decentralizacijos sąlygomis, susijusiomis su logistikos išlaidomis. Didelę įtaką turi ir tas faktas, kad keleivių norai maisto asortimentui nuolat kinta.

1980 m. pabaigoje šią veiklos rūšį Šveicarijoje ištiko krizė. SSG įmonė pradėjo dirbti nuostolingai, todėl buvo būtina ieškoti alternatyvos.

Buvo pradėti nagrinėti du variantai: atsisakyti tradicinės keleivių aptarnavimo formos per restorano vagonus arba paskliauti konkurencija tarp operatorių. SSB pasirinko antrąjį variantą, nes rinkoje pasirodė dvi naujos įmonės – „Mini-Buffer“ (naudojanti išvežiojamuosius vežimėlius) ir „McDonalds Schweiz“. Šis variantas turėjo pasisekimą iki tol, kol atsirado išvežiojamųjų vežimėlių vagonuose alternatyva – išplėstas parduotuvių tinklas stotyse. Keleiviai išsigydavo proviziją prieš sėsdami į traukinį. Prekyba iš vežimėlių susidūrė su daugeliu problemų, tarp jų ir apyvartos sumažėjimu.

1997 m. pradėjus eksploatuoti greitaeigį dviaukštį traukinį IC-2000 reikėjo realizuoti ir naują maitinimo koncepciją. Buvo suprojektuoti ir pagaminti bistro vagonai, labiau atitinkantys keleivių poreikius ir trumpinantys kelionės laiką. Tuo pačiu keliu pasuko ir Vokietijos bei Prancūzijos geležinkeliai.

Visuose traukiniuose senieji vežimėliai „Minibar“ buvo pakeisti vežimėliais „Railbar“. Šie vežimėliai turi įmontuotą konteinerinį šaldytuvą, kuris geriausiai tinka pateikti įvairiausią maistą keleiviui trumpoje kelionėje. Keleiviui siūloma 60 patiekalų, vyno, šalto alaus ir kitų gėrimų. Karštas maistas ruošiamas kiekvieną dieną artimiausioje centralizuotoje maisto gaminimo bazėje. Kokybiškų produktų asortimentas atnaujinamas kas mėnesį. Pirmajame bistro vagono aukšte įrengiamas baras, kuriame leidžiama rūkyti, užkandžiauti, o antrajame keleiviai gauna šilto maisto, ten puikus klimatas ir kultūringas aptarnavimas. **Bistro vagono koncepcija – tai pavyzdys, kaip įvairiapusis aptarnavimas leido efektyviai pritraukti keleivius iš automobilių į geležinkelių transportą.** Be to, firmos tiki, kad esant aukštam aptarnavimo lygiui ir kokybiškiems produktams, ši veiklos rūšis gali būti pelninga.

Ši trumpa maitinimo kultūros apžvalga geležinkelių transporte rodo, kad užsienio šalių įmonės, skirdamos didelį dėmesį maitinimui, stengiasi visais būdais pritraukti keleivius, laiku juos pamaitindami, ir **pagrindinį pelną gauna ne iš**

**parduotos provizijos, o iš didesnio skaičiaus nupirktų bilietų.** Mūsų šalyje, esant palyginti nedideliems atstumams, norint pritraukti kuo daugiau keleivių, maitinimas turi būti tinkamai organizuotas ir turi atitikti minimaliausius klientų poreikius, kad ir neilgos kelionės metu. Ypač gerai ši aptarnavimo rūšis privalo būti organizuota persėdimo punktuose, kuriuose kito traukinio tenka laukti vėlavimą ir daugiau. Pagal autoriaus parengtas technines sąlygas buvo pradėti modernizuoti keleiviniai restorano vagonai. Juose įrengti šiuolaikiniai interjerai, patogios sėdynės, sandarūs langai, vakuuminiai tualetai, informacinės sistemos, modernios virtuvės, malonus apšvietimas (P8 pav.).



**P8 pav.** Modernizuotas restorano vagonas

**Fig. P8.** Improved dining carriage

Šie vagonai kursuoja traukiniuose į Maskvą, Sankt Peterburgą, taip pat ir maršrutu Vilnius–Klaipėda.

## P4. Paslaugų kompleksas

Vežant keleivius socialinis ir kultūrinis aptarnavimas – tai organizuota aptarnavimo sistema, leidžianti keleiviui pasirinkti optimalų (ekonomiškai naudingą) teikiamų prekių ir paslaugų variantą sukuriant komforto sąlygas kelionėje.

Tam tikslui būtina atitinkama techninė įranga ir infrastruktūra. Be komfortiškų vagonų ir atitinkamo techninio bei technologinio aptarnavimo neįmanomas konkurencinga santykis su kitomis transporto rūšimis.

Keleivių vežimo aptarnavimas traktuojamas ne kaip veikla, didinanti pagrindinės paslaugos – keleivių vežimo – pajamas, o kaip aptarnavimo sistema, leidžianti pagerinti kelionės sąlygas geležinkelių transportu ir didinti jo konkurencingumą transporto rinkoje. Aptarnavimui keliami tam tikri reikalavimai, į kuriuos turi atsižvelgti keleivių vežimo įmonės:

1. Būtina paslaugų komplekso pasiūla ir vykdymas. Keleiviai turi būti informuojami apie kelionės metu teikiamas paslaugas.
2. Keleiviui nebūtina naudotis teikiamomis paslaugomis. Keleivių vežimo įmonės ir jų struktūros neturi reikalauti iš kliento pirkti jų paslaugas.
3. Elastingumas. Aptarnavimo paslaugos turi būti teikiamos nuo vienetinių arba minimaliai būtinų iki maksimalių (kompleksinių), kurias pasirenka pats keleivis.
4. Patogumas. Paslaugas reikia suteikti toje vietoje, tokiu laiku ir tokia forma, kurie tenkina keleivio norus.
5. Techninis adekvatumas. Techninis riedmenų lygis ir jų įranga (nuimamas ir nenuimamas inventorių bei įrenginiai) turi atitikti aptarnavimo technologiją. Antraip nebus pasiekta aptarnavimo kokybė.
6. Informacinė grąža. Keleivių vežimo įmonė turi teikti informaciją apie keleivių atsiliepimus ir pageidavimus dėl aptarnavimo sistemos funkcionavimo.
7. Protinga kainų politika. Ji gali padaryti didelę įtaką prekių ir paslaugų vartojimui.
8. Aptarnavimo garantija. Būtina elgtis taip, kad keleivis niekuomet nepalikėtų į padėtį „apsitarnauk pats“.

Transporto aptarnavimo paslaugų gausa reikalauja nuolatinės mokslinės ir inžinerinės minties pagalbos, tobulinant esamus ir kuriant naujus metodus, sistemas, technologijas bei techniką keleiviams vežti. Tai leistų pritraukti daugiau keleivių iš kitų transporto rūšių į geležinkelio transportą, pakelti keleivių vežimą geležinkeliais į aukštesnį lygį, lyginant su konkurentais, bei padidinti pajamų ir išlaidų santykį.

## P5. Priemonių parinkimo modelio sprendinių paieškos MATLAB programos pavyzdys

```

x0=[1,1,1,1,1,1,1];
LB=[1;1;1;1;1;1;1]
UB=[1;1;1;1;1;1;1]
[x,f]=fmincon(@vag2V,x0,[],[],[],[],LB,UB)
x0=x
inm=14
for(n=1:7)
for(in=1:inm)
x0(n)=LB(n)+(UB(n)-LB(n))/inm*in;
fV(in)=feval(@vag2V,x0);
X(in)=x0(n);
end
plot(X,fV)
grid on
axis tight
xlabel(['x',num2str(n)])
end
function f=vag2V(x)
KK=1;
P=0.19;
LR=178;
IM=8.8;
r=5;
KKO=0.9;
KD=0.7;
R=1.57;
DU=0.22;
N=0.81;

Y=KK*P*LR*(-0.1654*x(1)^2-1.6307*x(1)+101.08);
Delta3=((R*x(6)+DU+(0.0086*x(2)^2-
0.0686*x(2)+0.29)+(0.0377*x(3)^2-0.2952*x(3)+1.285)...
+(0.0337*x(4)^2-0.2645*x(4)+1.169)+(0.022*x(5)^2-
0.1726*x(5)+0.761)+N)...
*(0.9154*x(6)-0.1307)*(0.075*x(7)^2-0.241*x(7)+1.185));
IK=Delta3*KKO;
Delta2=KD*(x(6)*LR*IM*(0.075*x(7)^2-
0.241*x(7)+1.185)*(1+r/100)-Y-IK);
Delta=((Y+Delta2+KKO*IK)*1/LR)-Delta3;

f=Delta;

```

## P6. Ašidėžių pakabos parametrų patikrinamųjų rezultatų skaičiavimai

**L1 lentelė.** I varianto dinaminiai rodikliai

**Table L1.** I version of dynamic indicators

I variantas	$v$ , km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,056	0,065	5	0,034	1,831	1,497
	60	0,124	0,063	5	0,054	2,226	1,691
	80	0,126	0,069	5	0,044	2,172	1,759
	100	0,15	0,067	5	0,044	2,262	1,884
	120	0,156	0,086	5	0,046	2,412	2,068
	140	0,191	0,112	4,836	0,055	2,537	2,198
	160	0,234	0,119	4,641	0,069	2,573	2,313
	180	0,262	0,122	4,429	0,065	2,566	2,487
	200	0,308	0,119	4,484	0,078	2,785	2,565
	220	0,317	0,124	4,446	0,073	2,861	2,625
	240	0,321	0,139	3,826	0,082	2,883	2,713
	260	0,306	0,156	2,814	0,098	2,974	2,772
	280	0,279	0,17	2,583	0,098	2,977	2,848
	300	0,266	0,172	2,777	0,082	2,912	2,896

**L2 lentelė.** II varianto dinaminiai rodikliai

**Table L2.** II version of dynamic indicators

II variantas	$v$ , km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,054	0,068	5	0,033	1,824	1,518
	60	0,118	0,058	5	0,052	2,198	1,701
	80	0,121	0,072	5	0,041	2,156	1,761
	100	0,141	0,069	5	0,042	2,247	1,903
	120	0,146	0,087	5	0,044	2,383	2,068
	140	0,188	0,11	5	0,055	2,507	2,18
	160	0,228	0,116	4,939	0,066	2,546	2,275
	180	0,261	0,115	5	0,065	2,565	2,436
	200	0,301	0,113	4,88	0,073	2,766	2,543
	220	0,315	0,118	4,85	0,071	2,837	2,614
	240	0,315	0,119	4,583	0,085	2,869	2,706
	260	0,295	0,129	4,013	0,098	2,948	2,78
	280	0,287	0,15	3,819	0,094	2,944	2,82
	300	0,269	0,146	3,374	0,078	2,883	2,892



**L3 lentelė.** III varianto dinaminiai rodikliai**Table L3.** III version of dynamic indicators

III variantas	$v$ , km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,074	0,055	5	0,029	1,849	1,451
	60	0,143	0,064	5	0,051	2,267	1,646
	80	0,205	0,065	5	0,044	2,252	1,744
	100	0,203	0,067	5	0,054	2,319	1,901
	120	0,226	0,081	5	0,051	2,454	2,064
	140	0,243	0,104	4,797	0,066	2,549	2,216
	160	0,293	0,117	4,186	0,079	2,601	2,387
	180	0,317	0,129	3,85	0,076	2,583	2,538
	200	<b>0,351</b>	0,144	3,568	0,09	2,767	2,622
	220	<b>0,379</b>	0,159	3,343	0,076	2,899	2,668
	240	<b>0,393</b>	0,174	2,942	0,089	2,908	2,748
	260	<b>0,389</b>	0,203	2,577	0,103	2,986	2,829
	280	<b>0,367</b>	0,24	2,183	0,099	3,034	2,893
	300	0,345	0,237	2,121	0,091	2,988	2,937

**L4 lentelė.** IV varianto dinaminiai rodikliai**Table L4.** IV version of dynamic indicators

IV variantas	$v$ , km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,031	0,062	5	0,024	1,711	1,415
	60	0,056	0,085	5	0,028	1,853	1,607
	80	0,08	0,071	5	0,027	1,917	1,692
	100	0,107	0,084	5	0,032	2,046	1,801
	120	0,144	0,089	5	0,047	2,189	1,929
	140	0,189	0,111	4,722	0,047	2,199	2,051
	160	0,263	0,135	3,872	0,055	2,274	2,2
	180	0,294	0,149	3,354	0,051	2,412	2,333
	200	0,336	0,155	3,287	0,062	2,482	2,424
	220	<b>0,358</b>	0,166	3,072	0,067	2,54	2,486
	240	<b>0,369</b>	0,181	2,835	0,058	2,57	2,557
	260	<b>0,352</b>	0,201	2,596	0,051	2,516	2,628
	280	<b>0,352</b>	0,216	2,448	0,052	2,5	2,713
	300	0,345	0,23	2,257	0,053	2,484	2,764

**L5 lentelė.** V varianto dinaminiai rodikliai**Table L5.** V version of dynamic indicators

V variantas	v, km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,05	0,076	5	0,031	1,818	1,531
	60	0,108	0,065	5	0,049	2,189	1,712
	80	0,111	0,078	5	0,042	2,141	1,773
	100	0,134	0,077	5	0,04	2,238	1,925
	120	0,143	0,097	5	0,046	2,39	2,102
	140	0,183	0,124	4,863	0,055	2,519	2,205
	160	0,226	0,126	4,617	0,068	2,541	2,301
	180	0,261	0,12	4,542	0,067	2,558	2,441
	200	0,298	0,114	4,662	0,074	2,775	2,562
	220	0,317	0,117	4,493	0,071	2,833	2,625
	240	0,313	0,12	4,47	0,085	2,861	2,702
	260	0,293	0,134	4,157	0,094	2,945	2,737
	280	0,28	0,135	4,084	0,088	2,931	2,799
	300	0,279	0,196	3,598	0,073	2,864	2,846

**L6 lentelė.** VI varianto dinaminiai rodikliai**Table L6.** VI version of dynamic indicators

VI variantas	v, km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,073	0,056	5	0,03	1,843	1,467
	60	0,138	0,056	5	0,052	2,255	1,653
	80	0,186	0,066	5	0,043	2,233	1,75
	100	0,193	0,064	5	0,049	2,305	1,888
	120	0,213	0,081	5	0,051	2,434	2,045
	140	0,238	0,102	4,897	0,065	2,532	2,192
	160	0,284	0,115	4,394	0,076	2,586	2,347
	180	0,308	0,129	4,16	0,076	2,582	2,514
	200	0,344	0,143	3,894	0,086	2,762	2,588
	220	<b>0,369</b>	0,15	3,655	0,074	2,887	2,649
	240	<b>0,378</b>	0,161	3,057	0,089	2,9	2,731
	260	<b>0,371</b>	0,173	2,751	0,101	2,978	2,802
	280	0,346	0,188	2,67	0,101	3,018	2,874
	300	0,33	0,203	2,504	0,09	2,976	2,925

**L7 lentelė.** VII varianto dinaminiai rodikliai**Table L7.** VII version of dynamic indicators

VII variantas	v, km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,072	0,064	5	0,029	1,855	1,492
	60	0,152	0,096	5	0,051	2,276	1,734
	80	0,208	0,077	5	0,045	2,26	1,838
	100	0,202	0,095	5	0,051	2,323	1,965
	120	0,22	0,095	5	0,051	2,454	2,12
	140	0,234	0,118	4,344	0,066	2,547	2,295
	160	0,28	0,149	3,505	0,079	2,602	2,463
	180	0,299	0,163	3,32	0,076	2,582	2,576
	200	0,335	0,17	3,348	0,089	2,769	2,672
	220	<b>0,373</b>	0,164	3,493	0,074	2,895	2,678
	240	<b>0,389</b>	0,169	3,396	0,088	2,903	2,757
	260	<b>0,384</b>	0,179	3,1	0,101	2,989	2,795
	280	0,361	0,187	2,722	0,102	3,033	2,884
	300	0,342	0,196	2,807	0,092	2,988	2,922

**L8 lentelė.** VIII varianto dinaminiai rodikliai**Table L8.** VIII version of dynamic indicators

VIII variantas	v, km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,068	0,059	5	0,029	1,84	1,481
	60	0,136	0,058	5	0,053	2,254	1,655
	80	0,174	0,066	5	0,043	2,216	1,739
	100	0,184	0,062	5	0,05	2,296	1,886
	120	0,203	0,082	5	0,049	2,436	2,059
	140	0,228	0,099	5	0,064	2,541	2,208
	160	0,274	0,109	4,618	0,076	2,593	2,338
	180	0,304	0,114	4,54	0,073	2,573	2,513
	200	0,345	0,122	4,434	0,086	2,767	2,591
	220	<b>0,371</b>	0,13	3,976	0,073	2,889	2,641
	240	<b>0,371</b>	0,142	3,469	0,087	2,895	2,725
	260	<b>0,366</b>	0,164	2,835	0,099	2,979	2,798
	280	0,339	0,18	2,727	0,1	3,019	2,865
	300	0,317	0,17	2,965	0,089	2,97	2,916

**L9 lentelė.** IX varianto dinaminiai rodikliai**Table L9.** IX version of dynamic indicators

IX variantas	v, km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,068	0,067	5	0,031	1,849	1,495
	60	0,146	0,1	5	0,051	2,269	1,763
	80	0,186	0,081	5	0,042	2,243	1,874
	100	0,192	0,098	5	0,048	2,311	1,99
	120	0,205	0,103	5	0,052	2,449	2,148
	140	0,225	0,122	4,265	0,063	2,549	2,314
	160	0,271	0,157	3,406	0,078	2,6	2,468
	180	0,293	0,18	3,191	0,075	2,587	2,612
	200	0,328	0,191	3,08	0,088	2,78	2,689
	220	<b>0,358</b>	0,195	2,815	0,075	2,895	2,717
	240	<b>0,37</b>	0,197	2,759	0,087	2,907	2,737
	260	<b>0,37</b>	0,193	2,749	0,1	2,99	2,812
	280	0,346	0,202	2,603	0,103	3,026	2,838
	300	0,319	0,221	2,42	0,09	2,974	2,868

**L10 lentelė.** X varianto dinaminiai rodikliai**Table L10.** X version of dynamic indicators

X variantas	v, km/h	$K_{dva}$	$K_{dha}$	$K_s$	$K_{dvc}$	$W_v$	$W_h$
	40	0,067	0,065	5	0,031	1,835	1,501
	60	0,13	0,057	5	0,052	2,242	1,672
	80	0,157	0,065	5	0,04	2,203	1,745
	100	0,176	0,063	5	0,046	2,286	1,9
	120	0,192	0,086	5	0,05	2,429	2,051
	140	0,22	0,104	5	0,062	2,537	2,215
	160	0,267	0,108	4,986	0,076	2,587	2,335
	180	0,301	0,11	5	0,073	2,577	2,49
	200	0,345	0,113	5	0,085	2,774	2,585
	220	<b>0,368</b>	0,119	4,389	0,074	2,883	2,627
	240	<b>0,369</b>	0,134	3,927	0,086	2,895	2,713
	260	<b>0,363</b>	0,148	2,686	0,099	2,979	2,76
	280	0,336	0,157	2,752	0,101	3,008	2,826
	300	0,315	0,169	3,225	0,088	2,956	2,88

Stasys DAILYDKA

KELEIVIŲ VEŽIMO GELEŽINKELIU  
PRIEMONIŲ PARINKIMO TYRIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai,  
transporto inžinerija (03T)

A STUDY ON THE OPTIONS OF MEANS  
FOR RAILWAY PASSENGER TRANSPORTATION

Doctoral Dissertation

Technological Sciences,  
Transport Engineering (03T)

2011 04 20. 13,75 sp. l. Tiražas 20 egz.  
Vilniaus Gedimino technikos universiteto  
leidykla „Technika“,  
Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius,  
<http://leidykla.vgtu.lt>  
Spausdino UAB „Ciklonas“  
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius